


 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 7 :

G01N 21/88, 21/95, G01B 11/24

A2

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/63681

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum:

26. Oktober 2000 (26.10.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/01228

(22) Internationales Anmeldedatum: 19. April 2000 (19.04.00)

(30) Prioritätsdaten:

199 17 619.1

19. April 1999 (19.04.99)

DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LANG, Peter [DE/DE]; Am Tennenbach 29, D-91080 Spardorf (DE). SPINNLER, Klaus [DE/DE]; Lerchenbühl 9c, D-91056 Erlangen (DE). SCHRAMM, Ulrich [DE/DE]; Schillerweg 1, D-91336 Heroldsbach (DE). BAUER, Norbert [DE/DE]; Volckamerstrasse 14, D-91058 Erlangen (DE).

(74) Anwälte: LEONHARD, Reimund usw.; Leonhard Olgemoeller Fricke, Postfach 10 09 57, D-80083 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: CA, DE, JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht

Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

(54) Title: IMAGE EDITING FOR PREPARING A TEXTURE ANALYSIS

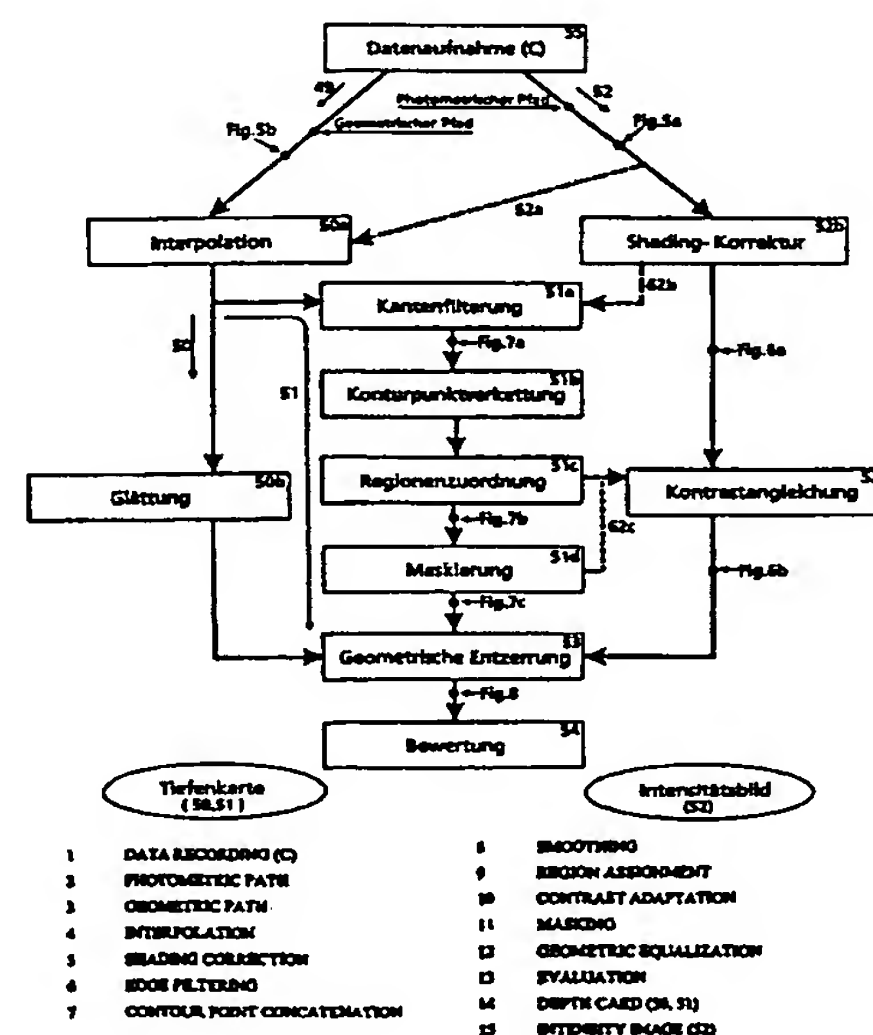
(54) Bezeichnung: BILDBEARBEITUNG ZUR VORBEREITUNG EINER TEXTURNALYSE

(57) Abstract

The invention relates to a method for preparing an automatic, contactless and non-destructive testing of surfaces (1, 2, 3, 4; 1*, 3*) of an object to be tested, whereby said surfaces are not perpendicularly aligned with regard to an optical axis (100). The inventive method uses at least one sensor array (A, B; A, B1; A_i) in order to extract, from at least one first relative position of the sensor array and of the object (20) to be tested, an item of photometric information (Figure 5a) concerning a first surface (3) located on the object (20) to be tested and of a corresponding item of geometric information (Figure 5b) also concerning said surface (3). The method consists of the following steps: (a) recording image data of at least one section of the object (20) using at least one first optical sensor array (A, B; B1, A), whereby at least one of the regions (3) of the test object comprises at least one unaligned surface whose span extends in a manner which is not substantially perpendicular to an optical axis (100) of the sensor array, and; (b) executing a local filtering of image data within the one surface of at least one region (3) in an essentially uniform raster (21) by forming a multitude of raster areas (30, 31, 33) in the surface or in the image data of the surface which are smaller than the surface.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vorbereitung einer automatischen, berührungslosen und zerstörungsfreien Prüfung von nicht senkrecht zu einer optischen Achse (100) ausgerichteten Oberflächen (1, 2, 3, 4; 1*, 3*) eines zu prüfenden Gegenstandes mittels zumindest einer Sensoranordnung (A, B; A, B1; A_i) zur Gewinnung einer photometrischen Information (Figur 5a) einer ersten Oberfläche (3) und einer dazu korrespondierenden geometrischen Information (Figur 5b) dieser Oberfläche (3) an dem zu prüfenden Gegenstand (20) aus zumindest einer ersten Relativposition von Sensoranordnung und zu prüfendem Gegenstand (20). Das Verfahren umfaßt dabei mehrere Verfahrensschritte: (a) Aufzeichnen von Bilddaten zumindest eines Ausschnitts des Objekts (20) über zumindest eine erste optische Sensoranordnung (A, B; B1, A), wobei zumindest eine der Regionen (3) des Prüfobjektes zumindest eine nicht ausgerichtete Oberfläche besitzt, deren Erstreckung nicht im wesentlichen senkrecht zu einer optischen Achse (100) der Sensoranordnung ausgerichtet verläuft; und (b) Durchführen einer lokalen Filterung der Bilddaten innerhalb der einen Oberfläche der zumindest einen Region (3) in einem im wesentlichen gleichmäßigen Raster (21) durch Bildung einer Vielzahl von gegenüber der Oberfläche kleineren Rasterbereichen (30, 31, 33) in der Oberfläche bzw. den Bilddaten der Oberfläche.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Bildbearbeitung zur Vorbereitung einer Texturanalyse

Im Gebiet der industriellen Qualitätssicherung sind optische Prüfmethoden wichtige und bewährte Verfahren zur Sicherstellung einer gleichbleibenden Qualität im Produktionsprozeß. Durch den ständig steigenden Kosten- und Konkurrenzdruck entsteht die Notwendigkeit, Verfahren zur Qualitätskontrolle zu automatisieren. Ermöglicht und begünstigt wird dies einerseits durch die zunehmende Verfügbarkeit von problemspezifischen Sensorkomponenten und andererseits durch eine überproportional wachsende Rechenleistung, womit auch Standardrechner anspruchsvolle Prüfaufgaben bewältigen können.

Automatisierte Bildverarbeitungssysteme lassen sich so einsetzen, daß Produktionsprozesse lückenlos überwacht und fehlerhafte Teile frühzeitig aus der Produktionslinie entfernt werden können. Damit werden die Kosten für die Weiterverarbeitung defekter Teile, wie es bei einer reinen Endkontrolle der Fall wäre, eingespart. Außerdem gewährleisten maschinelle Prüfsysteme Objektivität im Gegensatz zur subjektiven Beurteilung durch Prüfpersonal. Mit weiter sinkenden Kosten für Hard- und Software amortisieren sich automatische Prüfsysteme in kurzer Zeit.

Während in der Vergangenheit Systeme zur Prüfung von flachen Werkstücken und ebenen Oberflächen zur industriellen Reife entwickelt wurden, ist die Prüfung von dreidimensionalen Formen und Freiformflächen noch Gegenstand aktueller Forschung.

Freiformflächen, d.h. Oberflächen mit beliebigen Krümmungsradien und Ausrichtungen, können mit bisherigen Verfahren nur unter stark eingeschränkten Randbedingungen geprüft werden. Ein wesentlicher Aspekt bei der Bildaufnahme ist hierbei, daß die Oberfläche aufgrund der Krümmung oder durch Verkippung gegenüber der optischen Achse der Sensoranordnung in verschiedenen Skalierungen auf den Bilddaten der optischen Sensoranordnung abgebildet wird. Damit sind existierende Auswerteverfahren für ebene Flächen nicht unmittelbar anwendbar. Zusätzlich bedingt die räumliche Ausprägung und die unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheiten derartiger Werkstücke Beleuchtungseffekte (z.B. Glanzstellen, kontrastarme Bereiche, diffuse Reflexion, ...), die nachträglich korrigiert werden müssen, um eine quantitative Vergleichbarkeit der zu prüfenden Flächenstücke zu ermöglichen.

Bisher bekannte Verfahren können diese Anforderungen nicht vollständig erfüllen.

Aufgabe ist es deshalb, ein Verfahren vorzuschlagen, mit dem Bilddaten von nicht senkrecht zur optischen Achse ausgerichteten Flächenstücken (i.F. auch "Oberflächen") bearbeitet und so aufbereitet werden können, daß eine sich anschließende automatisierte quantitative Vergleichbarkeit möglich wird.

5

Vorgeschlagen wird dazu ein Verfahren zur Vorbereitung einer automatischen visuellen Prüfung von Freiformflächen, d.h. Flächen unterschiedlicher räumlicher Orientierung und Krümmung. Die Datenaufnahme erfolgt hierbei mit zumindest einer Sensoranordnung, die photometrische Information (Grauwert-/Farbbild) und korrespondierende Tiefeninformation (3D-Datensätze) als Bilddaten liefert (Anspruch 1, Anspruch 5).

15

Es werden mehrere Verfahrensschritte angewendet zur Auswahl der interessierenden Bildbereiche (Regionensegmentierung), Rückführung der Freiformflächen in Ebenen (geometrische Entzerrung, parametrisch und parametrisierungsfrei), Korrektur von Beleuchtungseinflüssen (Beleuchtungskompensation bzgl. Helligkeit und Kontrast) und Bewertung der hinsichtlich Geometrie und Beleuchtung korrigierten Flächen mit Verfahren der Texturanalyse, vgl. Ansprüche 14, 17, 7 (und 8) bzw. 16 - in dieser Reihenfolge.

20

Das Prüfsystem kann eine oder mehrere Positioniereinheiten (z.B. ein Roboter oder eine Handhabungseinrichtung) beinhalten, auf welche optische Sensoren montiert werden, um verschiedene Ansichten des zu prüfenden Objekts, insbesondere Werkstücks zu erhalten. Alternativ oder zusätzlich kann das Prüfobjekt selbst durch derartige Einheiten bewegt werden, um zusätzliche Freiheitsgrade bzgl. der Positionierung zu erreichen, vgl. **DE 197 39 250 A1**. Im Ergebnis ergeben sich mehrere Relativpositionen (in Lage, Richtung und/oder räumlicher Anordnung) von Prüfobjekt und Sensoranordnung (Anspruch 2, 3 und 4).

30

Eine weitere, gesondert hervorzuhebende Komponente des Verfahrens ist die Kompensation der Beleuchtungseffekte, bestehend aus einer Angleichung der Hintergrundbeleuchtung und einer Kontrastanpassung, ohne die mit der Prüfung zu ermittelnden Fehlstellen auf den Bilddaten der untersuchten Oberflächen zu verfälschen (Anspruch 21, 27, 24).

35

Zu einer Kantenfindung werden aus der Tiefenkarte zunächst die Normalenvektoren berechnet. Damit lassen sich den einzelnen Pixeln der Bildmatrix die entsprechenden Normalenvektoren zuordnen. Anschließend wird die Verkipfung benachbarter

Normalenvektoren bestimmt. Das Kantenbild selbst erhält man durch Binarisierung der Verkippsgrößen für jedes Pixel anhand eines applikationsspezifisch zu wählenden Schwellwertes.

5 Außerdem kann eine Randbedingung zu berücksichtigen sein, die von der Kompensation der Hintergrundbeleuchtung im Intensitätsbild herrührt. Durch die dort angewendete Tiefpaßfilterung verkleinert sich der auswertbare Bildbereich entsprechend der Größe des Filterkernels. Daher kann zusätzlich zur Binarisierung des Kantenbildes ein Rand um das gesamte Bild in der "Farbe" der Kanten gezogen
10 werden.

Die Kontrastveränderung in einem Rasterbereich (Anspruch 27) erfolgt nicht zwingend immer, sondern kann von einer Bedingung abhängig gemacht werden. Eine geeignete Bedingung wäre der Vergleich des berechneten Veränderungsfaktors mit einer
15 Konstanten, die im Bereich von Eins liegen kann (Anspruch 30). Mit einer solchen Schwellenwertentscheidung verhindert man, daß Oberflächendefekte, die im Intensitätsbild mit großem Kontrast erscheinen, fälschlicherweise an fehlerfreie Rasterbereiche angeglichen werden. Man geht dabei davon aus, daß sehr helle oder sehr dunkle Rasterbereiche potentielle Fehler sind oder enthalten, so daß vermieden
20 werden sollte, solche Rasterbereiche im Kontrast auf eine Weise zu verändern, die ihre spätere Erkennung erschweren würde. Der beschriebene Vergleichswert, mit dem der Veränderungsfaktor eines jeweiligen Rasterbereiches verglichen wird, kann empirisch oder experimentell festgelegt werden. Versuche haben gezeigt, daß er günstig bei Eins liegt. Damit ist selbstverständlich ein Bereich um Eins gemeint, also im wesentlichen
25 Eins, nicht genau Eins.

Es empfiehlt sich, die Größe der Rasterbereiche, auch "Fensterbereiche" genannt, so zu wählen, daß sie erheblich kleiner als der von ihnen gerasterte Flächenbereich, aber doch größer als der größte zu erwartende Oberflächendefekt (Fehlstelle) des zu
30 prüfenden Objekts, bzw. in der Oberfläche des zu prüfenden Objektes ist. Es kann dann nicht vorkommen, daß eine Fehlerstelle einen Rasterbereich vollständig einnimmt und eine Kontrastdifferenz entsteht, die für diesen Flächenbereich Null ist. Der für die Bestimmung eines jeweils für einen Rasterbereich geltenden Verstärkungsfaktors herangezogene Vergleichswert aus zwei Referenzparametern kann aus einem
35 garantiert fehlerfreien Bildbereich oder anhand eines nicht mit Fehlstellen belegten Gutteiles ermittelt und als Vorwissen vorgegeben werden. Die Vorgabe zumindest einer Region in den photometrischen Bilddaten erfolgt gesteuert von den geometrischen Daten, respektive dem Tiefenbild, aus dem die Regionen durch Operationen wie

Interpolation, Kantenfilterung, Konturpunktverkettung und ggf. Maskierung ermittelt werden.

Die am Ende der Verarbeitung stehende geometrische Entzerrung zur Darstellung der nicht ausgerichteten Oberfläche in einer zweidimensionalen Darstellung arbeitet mit drei Eingängen. Ein Eingang stellt Steuerinformationen zur Herstellung eines an die räumliche Lage oder Form der Fläche angepaßten Gitternetzes, insbesondere eines krümmungsadaptiven Gitternetzes bereit, welche Adaption über eine geglättete geometrische Information erfolgt, für eine makroskopische Betrachtungsweise des Werkstücks, hier des geometrisch zu entzerrenden Oberflächenstücks. Eine weitere Einganggröße ist die maskierte Geometrie-Information zur Bereitstellung desjenigen nicht ausgerichteten (gekrümmten oder schräg zur Achse liegenden) Oberflächenstücks. Die dritte Einganggröße liegt in der Bereitstellung der photometrischen Informationen, also der Helligkeitsinformation dieses Oberflächenstücks. Alle drei Eingänge bilden zusammen die Grundlage für eine Darstellung des interessanten Oberflächenstücks in der für eine Prüfung und Bewertung geeigneten Weise, vgl. hierzu die Oberflächenstücke 1,2,3 und 4 aus **Figur 8**, jeweils randseits des zentralen Bildes, die plane (ebene) Darstellung der räumlich nicht ausgerichteten, gleichnamigen Oberflächenstücke in dem zentralen Bild der **Figur 8** sind. In diesem Beispiel ist eine schräg zur Achse liegende Fläche das Flächenstück 1 und eine räumlich gekrümmt verlaufende Fläche das Flächenstück 2 oder 4. Alle diese Flächenstücke werden auf einer Ebene abgebildet, unter Beseitigung von Kontrast- und Helligkeitsstörungen, die im zentralen Bild der **Figur 8** noch ohne weiteres ersichtlich sind, aber in den randseitig dargestellten Ausschnitten nicht mehr als störend zu erkennen sind.

Die Kompensation der Beleuchtungseffekte (Anspruch 24) wird hinsichtlich der Angleichung der Hintergrundbeleuchtung (Shading-Korrektur oder Helligkeitsentzerrung) in der Regel über das gesamte Bild gleichmäßig erfolgen. Eine Kontrastanpassung erfolgt dagegen Bildpunkt für Bildpunkt, wobei in einer üblichen Vorgehensweise für jeden Bildpunkt ein unterschiedlicher Koeffizient für eine Steigungsänderung und der über die Fläche gleiche Parameter für eine Parallelverschiebung des Helligkeitswertes an diesem Bildpunkt vorliegt, ggf. auch nur eine unterschiedliche Steigung für jedes Pixel. Dieser Faktor ist für jeden Bildpunkt bei bekannten Kontrastentzerrungen unterschiedlich. Gemäß Anspruch 27 aber erfolgt die Kontrastanpassung nicht mit einem unterschiedlichen Koeffizient für jeden Bildpunkt, sondern es werden Rasterbereiche gebildet, deren Erstreckung größer ist als ein Bildpunkt und für die im Rasterbereich liegenden mehreren, meist eine Vielzahl von

Bildpunkten wird ein fester Koeffizient bestimmt, der als Proportionalitätsfaktor für alle Helligkeitswerte der Bildpunkte in diesem Bereich herangezogen wird. Für den nächsten, einen benachbarten, folgenden oder daneben liegenden, gleich großen Rasterbereich wird ein anderer Koeffizient bestimmt, der von all denjenigen Bildpunkten mitbestimmt wird, die sich in diesem Rasterbereich befinden (Anspruch 28). Auch hier erfolgt die Veränderung durch eine Multiplikation (Anspruch 29), aber eigenständig für eine ganze Gruppe von Bildpunkten im Rasterbereich (Anspruch 31). Die Kontrastanpassung erfolgt demgemäß bereichsweise mit konstanten Koeffizienten, wobei der Bereich ein Rasterbereich ist und jeder Rasterbereich im Rahmen eines
10 aktuell hinsichtlich ihres Kontrastes beeinflussten Oberflächenstücks eine gleiche Größe besitzt, nur nicht in den Randabschnitten, wo aufgrund einer nicht gerade verlaufenden Begrenzung des bereichsweise im Kontrast beeinflussten Oberflächenstücks (hier einer Region) Rasterbereiche entstehen, deren Erstreckung (Fläche) kleiner ist. Diese Randabschnitten können aber ebenso bearbeitet werden wie die übrigen, gleich großen
15 Rasterbereiche.

Es sollte angemerkt werden, daß die Rasterbereiche auf dem planen Abbild (den Bilddaten bzw. der photometrischen Information) eine gleiche Größe besitzen; bei einer schräg zur Achse oder gekrümmt zur Achse der Sensoranordnung verlaufenden
20 Region aber diese Rasterbereiche auf dem tatsächlichen Prüfobjekt nicht zwingend ein gleiches Flächenstück hinsichtlich des dortigen Oberflächensegmentes festlegen, das in dem Rasterbereich abgebildet wird.

Ausführungsbeispiele und Funktionsüberlegungen ergänzen und erläutern die Erfindung.

Figur 1 veranschaulicht einen optoelektronischen Sensor A und eine Beleuchtungseinrichtung B, wobei der Sensor A photometrische Informationen, d.h. Grauwert- oder Farbbilder eines Prüfobjektes 20 erzeugt. Eine optische Achse 100 des Sensors A ist vorgegeben.

Figur 2 veranschaulicht zwei oder mehr optische Sensoren A_1, A_2, A_i mit einer gegebenen räumlichen Anordnung zur Gewinnung der photometrischen Information.

Figur 3 veranschaulicht einen optischen Sensor A und ein scannendes, laser-basiertes 3D-Meßsystem B, deren Bilddaten zu einer Datenaufnahme C (auch 55) übertragen werden.

Figur 4 veranschaulicht ein Blockschaltbild mit einer Vielzahl von Funktionen, die in einzelne Äste 49,50,51,52 aufgeteilt sind und in diesen jeweiligen Ästen Funktionsblöcke benennen, die im einzelnen erläutert werden. Die Datenaufnahme 55 wird mit den Sensoranordnungen gemäß den Figuren 1, 2 oder 3 bewerkstelligt und entspricht C von Figur 3. Die Bewertung 54 ist beispielsweise ein Texturverfahren zur Analyse der Oberfläche und die geometrische Entzerrung 53 soll besonders hervorgehoben werden. Mit ihr werden Bilddaten zur Verfügung gestellt, die schwierig zu messende Oberflächen von Werkstücken so darstellen, daß die Bewertung 54 mit einfachen 2D-Verfahren erfolgen kann.

Figur 5a veranschaulicht ein Werkstück 20, hier eine Kurbelwelle, die eine Vielzahl von Oberflächenstücken 1,2,3,4,1*,3* aufweist, die in einer schrägen Stellung bezogen auf die optische Achse 100 des abbildenden Sensors zu liegen kommen, gleichzeitig sind starke Helligkeits- und Kontrastunterschiede zu erkennen.

Figur 5b veranschaulicht eine Tiefenkarte von der Kurbelwelle 20.

Figur 6 veranschaulicht herausgegriffen aus Figur 8 und dort hinsichtlich des Flächenbereichs 3 mit einem Raster 21 versehen, einzelne Fensterabschnitte, die mit 30, 31 und 33 im Beispiel bezeichnet sind.

Figur 6a ist die Kurbelwelle nach einer Shading-Korrektur 52b, wodurch eine Helligkeitskorrektur durchgeführt wird.

Figur 6b ist die Kurbelwelle nach einer Kontrastangleichung 52c, folgend auf die Helligkeitskorrektur von Figur 6a.

5 **Figur 7a** veranschaulicht eine Normalenvektor-Darstellung (mehrfarbig, hier nur schwarz/weiß dargestellt), bei der jedem Pixel ein Normalenvektor zugeordnet ist.

Figur 7b veranschaulicht die Kurbelwelle 20 von Figur 5a mit Regionensegmentierung.

10 **Figur 8** veranschaulicht entzerrte Regionen 1,2,3,4, die auch gesondert neben dem Bild dargestellt werden, bezogen auf die Kurbelwelle 20. Das Flächenstück 3 (am unteren Bildrand der Figur) ist in der Figur 6 gesondert herausgestellt. Die nicht sichtbaren Regionen 1* und 3* auf der Rückseite der Regionen 1,3 entsprechen der Lage in Figur 5a.

15 Das Gesamtverfahren zur Prüfung eines Werkstücks ist in **Figur 4** schematisch dargestellt. Ausgangspunkt sind durch eine optische Sensoranordnung von **Figuren 1 bis 3** gewonnene Intensitäts- und Tiefenbilder aus der Datenaufnahme 55. Beispiele solcher Bilddaten sind in **Figur 5a bzw. 5b** gezeigt. Einerseits werden die Tiefendaten im Pfad 50 bei 50b geglättet, um eine makroskopische Betrachtungsweise der
20 Werkstückoberflächen zu erhalten, andererseits dient die Tiefenkarte im Pfad 51 der Extraktion und Zuordnung 51c,51d von abgeschlossenen Flächenstücken nach vorheriger Filterung 51a,51b von (dreidimensional ausgeprägten) Kanten. Parallel dazu wird das korrespondierende Intensitätsbild im Pfad 52 bezüglich der Beleuchtung bei
25 52b,52c korrigiert. Anschließend erfolgt die regionenbezogene Entzerrung 53 und Bewertung 54 der einzelnen Flächenbereiche. Zur Bewertung 54 der sowohl geometrisch als auch hinsichtlich der Beleuchtung entzerrten Flächenstücke kommen Verfahren zur Texturanalyse für Problemstellungen mit "zweidimensionaler" Charakteristik zum Einsatz.

30 Zur Erzeugung der Eingangsbilddaten für das vorgeschlagene Verfahren können beispielsweise die im Folgenden beschriebenen Sensoranordnungen dienen.

Die Sensoranordnung in **Figur 1** besteht aus den Komponenten optoelektronischer
35 Sensor A, z.B. CCD-Kamera, einer geeigneten, steuerbaren Beleuchtungseinrichtung B, z.B. ein Streifenprojektor, die in einer bekannten, festen, räumlichen Beziehung zueinander stehen sowie einer Steuer- und Auswerteeinheit C (oder 55), mit der Sensor und Beleuchtung verbunden sind. Der optoelektronische

Sensor (A) dient dabei der Erfassung von photometrischen Informationen, d.h. der Grauwert- oder Farbbilder, wie Figur 5a zeigt. Gleichzeitig kann der Sensor (A) zusammen mit der Beleuchtung (B) und der Steuereinheit (C) einen 3D-Sensor nach dem Triangulations-Prinzip bilden, z.B. durch Auswertung von Bild- und Projektionssequenzen nach Verfahren wie "Phasenshift", "Coded-Light" oder "Moire".

Alternativ ist in **Figur 2** auch die Kombination von zwei oder mehr optoelektronischen Sensoren A_i , z.B. CCD-Kameras, in bekannter räumlicher Anordnung denkbar, die zur Gewinnung der photometrischen Information dienen und wobei die korrespondierende geometrische Information (3D Tiefenbild) durch Auswertung mehrerer photometrischer Bilder der verschiedenen Sensoren A_i durch passive Stereoverfahren erzielt wird.

Ebenso ist eine Anordnung nach **Figur 3** möglich, bei der photometrische und geometrische Information durch getrennte Sensoren erfaßt wird, z.B. eine CCD-Kamera (A) und ein scannendes, laser-basiertes 3D-Meßsystem B1 nach dem Laufzeit-Prinzip.

Weitere Sensoranordnungen, die aus dem Stand der Technik bekannt sind, können ebenfalls eingesetzt werden, wenn sie sich dazu eignen, ein Tiefenbild und ein dazu räumlich korrespondierendes Intensitätsbild, also photometrische und geometrische Informationen bereitzustellen, die entweder sequentiell aufgezeichnet werden, oder gleichzeitig so aufgezeichnet werden, daß die dann vorhandenen Bilddaten miteinander korrespondieren. Die Korrespondenz bedeutet eine pixelgenaue Zuordnung dieser beiden Bilddaten, wobei auch die Tiefeninformation als Bilddaten angesehen werden. Beispiele von Sensoranordnungen zur Gewinnung von Tiefenbildern sind aus dem Stand der Technik bekannt¹.

Die Realisierung der Sensoranordnung für die korrespondierende, sequentielle Erfassung von photometrischer und geometrischer Information kann so durch geschickte Nutzung der beschriebenen optischen Komponenten erreicht werden. Ausgegangen werden soll deshalb für die weitere Bildbearbeitung von zwei Beispielen von Bilddaten. Ein Beispiel findet sich in Figur 5a als Intensitätsbild mit spezifisch herausgezeichneten Flächenbereichen 1,2,3,4 sowie im Bild nicht sichtbaren Flächenbereichen 1*,3*, die rückwärtige Flächen sind, die aus dem gezeigten Blickfeld der Sensoranordnung nicht sichtbar sind, aber bei einer Relativbewegung zu einer

¹ DGZfP, Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung, Verfahren für die optische Formerfassung, Handbuch OF1, DGZfP-Ausschuß Optische Formerfassung, 1995.

zweiten Relativposition von Sensor und Prüfstück sichtbar werden. Eine dazu korrespondierende Bildinformation findet sich in Figur 5b als Tiefenkarte. Diese Tiefenkarte ist hier dargestellt durch unterschiedliche Helligkeitswerte, stellt aber keine unterschiedlichen Helligkeiten, sondern unterschiedliche Abstände von dem Sensor, beispielsweise B1 in Figur 3 dar. Die Abstandsmaße sind in einer vertikalen Legende zwischen 283,9 mm und 166,9 mm dargestellt; je dunkler das Bild, desto weiter entfernt ist der korrespondierende Bildpunkt auf den sichtbaren Flächenbereichen. Die Flächenbereiche 1 bis 4 von Figur 5a können ohne weiteres durch pixelgenaues Übereinanderlegen der Bilder identifiziert werden, so daß sie in Figur 5b nicht gesondert eingezeichnet sind. Die so gebildeten beiden Eingangsbilder, die Intensitätsinformation und die Tiefeninformation, finden sich identifiziert in der Figur 4 über die Eingangspfade 49 und 52, die aus der Datenaufnahme zu einerseits der Interpolation 50a und andererseits der Shading-Korrektur 52b führen.

Die Datenaufnahme C entspricht der Steuer- und Auswerteeinheit C, die entsprechend den angeschlossenen Sensoren bzw. Beleuchtung und Sensoren als nur Aufnahmeeinheit, nur Auswerteeinheit oder Steuer- und Auswerteeinheit ausgebildet ist. Das von ihr bereitgestellte Intensitätsbild gemäß Figur 5a und Tiefenbild gemäß Figur 5b entstammt dem schematisch in Figur 1 eingezeichneten Werkstück 20, dessen Achse mit 101 bezeichnet ist und gegenüber der optischen Achse 100 des Sensors A eine Relativlage besitzt. Diese Achse 101 ist in den Bildern 5a und 5b von rechts nach schräg hinten links in die Papierebene orientiert zu denken, auch wenn sie als solches nicht eingezeichnet ist.

Bevor ein Verfahren zur Oberflächenbildbearbeitung mit den gemäß Figur 3 gewonnenen Bilddaten ausgeführt werden kann, erfolgt zur Erzielung korrespondierender Bilddaten aus räumlich nicht identisch angeordneten Sensoren eine Koordinatentransformation, welche die Meßdaten des 3D-Meßsystems B1 anhand der bekannten Relativpositionen beider Systeme auf das Koordinatensystem der CCD-Kamera A abbildet.

Die zuvor bereits angesprochene **Figur 4** soll Ausgangspunkt einer Beschreibung des Verfahrens sein, wobei die dort eingezeichneten einzelnen Pfade 49, 50, 51, 52 als Anhaltspunkt und Leitfaden für die folgende Beschreibung dienen sollen. Kurz skizziert ist das Endprodukt gemäß **Figur 8** das Ausgangsbild aus der geometrischen Entzerrung 53, welches Ausgangsbild durch eine zweidimensionale Methode der Oberflächenprüfung oder -analyse bewertet wird. Ausgangspunkt sind die Bilddaten der Geometrieinformation und der photometrischen Information aus den zuvor

beschriebenen Sensoranordnungen, die in die Pfade 49 (Geometrieinformation) und 52 (photometrische Information) geleitet werden. In der Geometrie werden nach einer Interpolation 50a zwei weitere Pfade beschritten, ein Pfad 50 mit einer Glättung 50b und ein paralleler Pfad 51, bei dem eine "Segmentierung" vorgenommen wird, die im
5 folgenden detailliert erläutert ist. Diese beiden Pfade stellen zwei Eingangswerte der erwähnten geometrischen Entzerrung 53 bereit, namentlich Steuerinformation zur Anpassung eines Gitternetzes und maskierte Geometrieinformation zur Definition eines nicht ausgerichteteten Oberflächenstücks, das geometrisch entzerrt werden soll. Diesem
10 Oberflächenstück entspricht eine Helligkeitsinformation als photometrische Information, die im rechten Pfad 52 bearbeitet wird, durch eine Helligkeitskorrektur 52b und eine Kontrastveränderung 52c.

In dem Blockschaltbild wird links die Tiefenkarte gemäß Figur 5b und rechts das Intensitätsbild gemäß Figur 5a verarbeitet. An einigen Stellen im Blockschaltbild ist auf
15 Figuren verwiesen, die die entsprechenden Bilddarstellungen der Figur 5a nach der jeweiligen Bearbeitung zeigen, so die Figuren 7a, 7b in der Segmentierung des Pfades 51, das bereits erwähnte Ausgangsbild der Figur 8 mit den geometrisch entzerrten Flächenstücken 1, 2, 3 und 4, sowie die beiden Helligkeitsbilder der Figuren 6a und 6b nach der Helligkeitsanpassung und nach der Kontrastbearbeitung. Letzteres Bild der
20 Figur 6b ist das Eingangsbild mit der Helligkeitsinformation, die durch die geometrische Entzerrung in eine räumlich ebene (plane) Lage gebracht wird und entspricht beispielsweise dem Flächenstück 3 aus Figur 8, das selbst in der Figur 6 noch einmal wiedergegeben ist, wo seine Kontrastentzerrung näher erläutert ist.

25 Zusätzlich zu den beschriebenen Pfaden bestehen auch drei Querkopplungen 52a, 62b und 62c, die am Ende der einzelnen Pfade kurz angesprochen werden.

A. Geometrieentzerrung

Die Entzerrung von digitalen Bildern spielt im Bereich der Photogrammetrie eine große Rolle. Viele Anwendungen benötigen entzerrte Bilder, die unter dem Begriff
5 "Orthophoto" zusammengefaßt werden. Diese Orthophotos besitzen die vollständige Information des Ursprungsbildes, weisen aber die gleichen geometrischen Eigenschaften wie Karten auf. Mathematisch bedeutet die Erzeugung eines Orthophotos die Umbildung von einer zentralperspektivischen Abbildung auf eine Parallelprojektion.

10 Typische Anwendungen von Orthophotos sind Landkarten, die aus Satellitenbildern berechnet werden, oder die Architekturphotogrammetrie mit dem Ziel der Denkmalpflege und der Dokumentation historischer Bauwerke. Die Generierung digitaler Orthophotos basiert auf einer Koordinatentransformation zwischen
15 Ursprungsbild (Aufnahme der Kamera) und Zielbild (Orthophoto) unter der Voraussetzung einer analytischen Beschreibung der Oberflächengeometrie und gehört damit zur Klasse der parametrischen bzw. modellbasierten Verfahren.

Alternativ kann zur Generierung von Orthophotos auch eine nichtparametrische
20 Vorgehensweise gewählt werden, wobei aber nur bei ebenen Flächen gute Resultate zu erwarten sind. Für die Berechnung der Orthophotos werden dabei digitale Flächenmodelle zusammengesetzt.

In beiden Fällen kommen Interpolationsverfahren (z.B. "nächster Nachbar", bilinear,
25 bikubisch) zum Einsatz, da die Koordinatentransformation nicht notwendigerweise die Mittelpunkte der Pixel von Ursprungs- oder Zielbild trifft.

Eine andere Möglichkeit zur Entzerrung beruht auf der Annahme einer geringen, lokal vernachlässigbaren Oberflächenkrümmung. Das zu untersuchende
30 Oberflächensegment wird durch drei helle Laserpunkte markiert und mit der Kenntnis der Kalibrationsparameter der drei Laser und der Kamera in eine sog. Normalebene rücktransformiert. In dieser Normalebene erfolgt die weitere Auswertung mittels Texturanalyse. Dieser Ansatz beschreibt eine lokale Näherung, allerdings mit dem Vorteil, daß keine analytische Beschreibung der Oberfläche vorliegen muß.

B. Beleuchtungskorrektur

Zur Oberflächenprüfung werden die Auswirkungen der aktuellen Beleuchtungsanordnung berücksichtigt. Die Positionen von Lichtquellen bezüglich des zu beleuchtenden Objekts und bezüglich der Kamera haben gravierenden Einfluß auf die auswertbaren Oberflächeneigenschaften. So kann die Richtung von Beleuchtungseinheiten die im Sensor erkennbare Vorzugsrichtung von Texturen maßgeblich bestimmen². Die Beleuchtungsrichtung wirkt dabei als richtungsabhängiger Filter, was für nachfolgende Texturauswertungen von beeinflussender Bedeutung ist. Entsprechendes gilt auch für den Einfall von Fremdlicht.

Die Konzeptionierung der Beleuchtung erfolgt dabei üblicherweise mit dem Vorwissen über zu erwartende Eigenschaften der auszuwertenden Oberflächen. Das Erstellen der optimalen Beleuchtungskonfiguration gestaltet sich problemlos, wenn ebene Oberflächen mit einer statischen Anordnung von Sensoren und Lichtquellen beleuchtet werden. In derartigen Fällen genügt eine einmalige Justierung, um gleichbleibende Qualität im Auswertungsprozeß zu gewährleisten. Hierbei wählt man oftmals "Flutbeleuchtung", um eine gleichmäßige Helligkeit über einen großen Flächenbereich zu erzielen.

Deutlich schwieriger ist die Auswahl einer geeigneten Beleuchtung für gekrümmte oder schief zur optischen Achse liegenden Oberflächen, vor allem dann, wenn die statische Aufnahmesituation verlassen wird und nacheinander Aufnahmen aus verschiedenen räumlichen Blickwinkeln (von unterschiedlichen Orten aus) erfolgen.

Ein zusätzliches Problem sind dabei die Reflexionseigenschaften der Oberflächen, wobei in einer einzelnen Aufnahme durchaus stark glänzende Bereiche direkt neben matten und rein diffus streuenden Flächen zu sehen sein können.

Die Bildqualität von Aufnahmen ungleichmäßig ausgeleuchteter Flächen läßt sich mittels einer sog. Shading-Korrektur verbessern. Dabei wird von der Originalaufnahme das tiefpaßgefilterte Originalbild subtrahiert und anschließend zum Grauwert jedes Pixels ein konstanter Offset addiert. Die Größe des Tiefpaßfilters richtet sich nach der Größe der Oberflächenstrukturen im Kamerabild.

² Chantler, Why illuminant direction is fundamental to texture analysis, IEE Proc.-Vis. Image Signal Processing, Vol. 142, No. 4, August 1995.

Die Shading-Korrektur eignet sich sehr gut zur Verbesserung von Aufnahmen diffus reflektierender Flächen. Außerdem ist keine Kenntnis von Beleuchtungs- oder Kameraposition nötig. Allerdings lassen sich mit diesem Verfahren gerichtete Reflexionen nur in stark begrenztem Umfang kompensieren. Je ausgeprägter direkte Reflexionen ausfallen, um so geringer ist der Verbesserungseffekt, bedingt durch die Fensterung mit dem Tiefpaßkernel. Zusätzlich bewirkt die Tiefpaßfilterung - je nach Größe des Tiefpaßkernels - eine Verkleinerung des auswertbaren Bildbereichs.

Zur Kompensation von gerichteten Reflexionen bzw. zur Trennung von gerichteten und diffusen Reflexionen gibt es eine Reihe von Verfahren, die bei unterschiedlichen Voraussetzungen angewendet werden können.

Ausgangspunkt eines Verfahrens zur Detektion von gerichteten Reflexionen in Grauwertbildern ist in eine Lambertsche Oberfläche, d.h. eine Fläche, die von allen Blickwinkeln aus gleichmäßig hell erscheint. Direkte Reflexionen werden dadurch erkannt, daß das angenommene Lambertsche Abstrahlungsverhalten durch rapide Helligkeitsänderungen im Grauwertbild verletzt wird.

Die Erfassung von Reflexionseigenschaften mit Intensitätsbild und Tiefenkarte beruht auf einem physikalischen Reflexionsmodell, mit dessen Hilfe Beleuchtungsrichtung und Reflexionsparameter iterativ angenähert werden. Weitere Voraussetzungen sind einerseits parallel einfallende Lichtstrahlen, was durch entsprechend große Entfernung der Lichtquellen vom Untersuchungsobjekt erreicht wird, und andererseits ein großer Abstand des bildaufnehmenden Sensors vom Objekt, modelliert durch Vorschalten eines telezentrischen Objektivs. Möglich sind mit diesem Vorgehen in ihrer Helligkeit korrigierte Intensitätsbilder.

Auch Farbe und Polarisierung werden zur Separierung von direkten Reflexionen angewendet. Durch die Verknüpfung von Farb- und Polarisationsinformation werden für jeden Bildpunkt Bedingungen für die Reflexionskomponenten aufgestellt. Aus der Anwendung dieser Randbedingungen auf jeweils benachbarte Bildpunkte ermittelt man die Parameter der diffusen Reflexion.

Active-Vision-Systeme nutzen die Szenenbeleuchtung als einen während des Arbeitsablaufs zu bestimmenden und zu optimierenden Parameter. Ziel ist es hierbei, Bildeigenschaften wie Punkte, Kanten oder Texturen hervorzuheben, um Szeneninterpretation und Objekterkennung zu verbessern.

Im Hinblick auf Anwendungen zur visuellen Oberflächeninspektion wurden Verfahren entwickelt, die Robot Vision mit Active Vision kombinieren. Aufgrund der aus einem CAD-Modell gewonnenen Daten eines Prüfobjekts wird ein Prüfplan erstellt, der einzelne Sensorpositionen und die dazugehörigen Blickwinkel beschreibt.

- 5 Abschließend erfolgt eine Optimierung des Prüfplans hinsichtlich einer minimalen zurückzulegenden Wegstrecke des optischen Sensors.

- Alternativ kann aus einem gegebenen CAD-Modell eine Sequenz von räumlichen Positionen für einen generalisierten Sensor berechnet werden, von denen aus eine
10 Inspektionsaufgabe optimal durchgeführt werden kann. Der generalisierte Sensor besteht aus einer oder mehreren physikalischen Aufnahmeeinheiten und kann Objekteigenschaften sowohl parallel (eine Sensorposition) als auch seriell auswerten (mehrere aufeinanderfolgende Sensorpositionen). Grundlage für das Aufstellen der Positionssequenz sind aus dem CAD-Modell gewonnene Sichtbarkeitsbereiche, in
15 denen angegebene Objekteigenschaften vom Sensor beobachtet werden können. Jedem dieser Bereiche werden die Parameter Sichtbarkeit und Zuverlässigkeit zugewiesen. Der eigentliche Prüfplan erfolgt aus der Kombination der einzelnen Sichtbarkeitsbereiche mit Optimierungsalgorithmen.

- 20 Ein weiteres System verwendet als zentralen Bestandteil eine Kamera mit programmierbarem Sensor und Motorzoom-Objektiv. Um verschiedene Blickwinkel anzusteuern, ist vor der Kamera ein schwenkbarer Spiegel angebracht. Die Bildauswertung erfolgt mit Verfahren der Fraktalanalyse sowie morphologischen Operatoren. Das System arbeitet adaptiv anhand der gewonnenen Bilddaten. Im ersten
25 Schritt nimmt man die Oberfläche mit niedrigster Zoom-Einstellung auf. Dadurch lassen sich mit wenigen Bilddaten große Oberflächenbereiche grob beurteilen. Sind potentielle Defekte aufzufinden, so werden im zweiten Schritt durch veränderte Zoom-Einstellung detailliertere Aufnahmen der betreffenden Regionen ausgewertet. Als konkrete Anwendung wird die Oberflächenprüfung von betonierten Ziegeln angegeben.

C. Der hier dargestellte Lösungsweg verwendet Tiefeninformation und Intensitätsinformation (photometrische und geometrische Meßdaten) aus den Pfaden 49, 52. Durch diesen multisensoriellen Ansatz stehen für jeden Bildpunkt neben dem Grauwert (Helligkeit, Farbe) auch die räumlichen Koordinaten eines jeweiligen Oberflächenelements zur Verfügung. Mit derartigen Eingangsdaten können gekrümmte oder schief zur optischen Achse orientierte Oberflächensegmente in eine plane Ebene transformiert werden. Dazu dient eine Geometrieentzerrungs-Komponente, die ohne Parametrisierung, d.h. ohne Modellwissen über die gekrümmte Fläche, die Rückführung in eine Ebene vornimmt.

Eine weitere, gesondert hervorzuhebende Komponente des Verfahrens ist die Kompensation der Beleuchtungseffekte, bestehend aus einer Angleichung der Hintergrundbeleuchtung und einer Kontrastanpassung, ohne die mit der Prüfung zu ermittelnden Fehlstellen auf den untersuchten Oberflächen zu verfälschen.

Die geometrisch und hinsichtlich der Beleuchtung korrigierten Flächenstücke (i.F. "Oberflächen") können anschließend mit Verfahren der Texturanalyse bewertet und geprüft. Mit der Bezeichnung "Textur" charakterisiert man die visuelle Erscheinung von Oberflächenstrukturen. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen deterministischer Textur mit sich periodisch wiederholenden Texturelementen, und stochastischer Textur, welche keine gleichförmigen Elemente besitzt, aber trotzdem ein einheitliches Erscheinungsbild bei makroskopischer Betrachtungsweise liefert.

Aus anwendungsorientierter Sichtweise werden Texturanalyseverfahren eingesetzt, um Aussagen über die Beschaffenheit und Qualität von Oberflächen zu treffen. Es existieren zahlreiche Verfahren, die bei der Lösung von Problemstellungen mit ebener, zweidimensionaler Charakteristik zum Einsatz kommen^{3,4,5} Voraussetzungen für eine erfolgreiche Anwendung dieser Verfahren zur Texturanalyse sind, daß die direkt untersuchten Oberflächen keine Krümmung aufweisen und parallel zum CCD-Sensor der Inspektionskamera liegen.

³ Haralick, Shanmugam, Dinstein, Textural Features for Image Classification, IEEE Trans. Systems Man Cyber., Vol. SMC-3, No. 6, pp. 610-621, Nov. 1973.

⁴ Unser, Sum and Difference Histograms for Texture Analysis, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 8, pp. 118-125, 1986.

⁵ Galloway, Texture Analysis Using Grey Level Run Lengths, Computer Graphics and Image Processing, Vol. 4, pp.172-179, 1975.

Eine oftmals gestellte Forderung ist die vollständige Prüfung des vorliegenden Werkstücks. Da nicht alle Oberflächenelemente von einer Beobachtungsposition zugänglich sind, müssen verschiedene Blickwinkel angefahren werden. Dies wird mit Hilfe einer Verfahreinheit (z.B. Roboter) ermöglicht, die die Sensorik zur optischen Datenaufnahme trägt.

Zur Datenaufnahme werden ein oder mehrere Bildaufnahmesensoren (z.B. Zeilenkameras, Flächenkameras) und - bei Bedarf - eine oder mehrere Beleuchtungskomponenten B eingesetzt (z.B. strukturierte bzw. unstrukturierte Beleuchtung). Aus den aufgenommenen Daten, z.B. einer Kurbelwelle gemäß Figur 5a, erhält man einerseits Intensitätsbilder (z.B. Grauwertbilder, Farbbilder) und andererseits Tiefenkarten (3D-Koordinaten, Forminformation) gemäß Figur 5b nach Auswertung von z.B. verschiedenen Ansichten mit Korrespondenzbestimmung (Stereosehen) oder Auswertung von projizierten Lichtmustern der Beleuchtungseinheiten (z.B. Triangulationsverfahren: einfacher Lichtschnitt, Codierter Lichtansatz, Phasenshift, Moiré, Lasertriangulation).

Für das weitere Vorgehen wird von einer Korrespondenz zwischen Intensitätsbild und Tiefenbild ("pixelgenau deckungsgleiches Tiefenbild") ausgegangen.

Da üblicherweise durch z.B. Meßfehler, lokale Überbelichtungen usw. nicht zu allen Bildpunkten die 3D-Koordinaten gewonnen werden können, wird eine Interpolation durchgeführt. Ausgehend vom aktuellen zu interpolierenden Pixel wird in allen vier Koordinatenrichtungen der nächste Stützpunkt gesucht. Damit erhält man im Idealfall vier Stützpunkte, mit denen eine bilineare Interpolation durchgeführt werden kann. Diese Interpolation wird außerdem in Abhängigkeit vom entsprechenden Intensitätswert vorgenommen (Schwellwertentscheidung). Diese Schwellwertentscheidung anhand des Intensitätswertes hilft, unnötigen Rechenaufwand zu vermeiden. Insbesondere bei großflächigen Bereichen, die nicht beleuchtet werden (z.B. Abschattungen) oder außerhalb des Kalibriervolumens liegen (z.B. Bildhintergrund), sind keine Stützstellen in der Nähe zum aktuellen Punkt aufzufinden. Durch zweckmäßige Wahl des Schwellwertes ist eine Anpassung auch an dunkle bzw. reflexionsarme Oberflächen möglich.

Sind keine Stützstellen in der lokalen Umgebung des aktuellen Punktes aufzufinden, wird die entsprechende Koordinatenrichtung für die Interpolation als ungültig ausmaskiert. Meßpunkte mit bekannten Tiefenwerten, die aber in großem Abstand zum

aktuellen Punkt liegen, würden durch die Interpolation die Oberflächengeometrie zu stark verfälschen.

Durch eine weitere Schwellwertentscheidung - bezogen auf den räumlichen Abstand der Stützstellen - wird das Verschleifen von Kanten vermieden. Die entsprechenden Pixel bleiben weiterhin ungültig und werden bei einer späteren Regionensegmentierung als Kante interpretiert.

Segmentierung

Die Aufgabe der Segmentierung im Pfad 51 von 51a bis 51d (auch: Regionenzuordnung) ist die Einteilung des von dem Sensor aufgenommenen Intensitätsbildes in logisch zusammengehörende Bereiche, z.B. Flächenstücke 1,2,3,4 in Figur 5a oder die sichtbaren Flächenstücke in Figur 7b, die gleichbleibende Bearbeitungsspuren aufweisen und mit einem unveränderten Parametersatz geprüft werden können. Dazu werden im ersten Schritt anhand der Tiefenwerte Kanten bei 51a extrahiert. Anschließend werden mit einem sog. Closing bei 51b aus den Kanten zusammenhängende Linien gebildet, so daß abgeschlossene Flächenstücke bei 51c entstehen. Im letzten Schritt erfolgt die Generierung 51d einer Maske, die durch eindeutige Kennzeichnung die Zugehörigkeit aller Pixel zu einer jeweiligen Region definiert. Das folgende sind Teile der Segmentierung im Pfad 51.

Kantenfilterung

Ziel der Kantenfilterung 51a ist es, räumliche Kanten, d.h. kleine Krümmungsradien der Werkstückoberfläche, zu bestimmen. Diese Kanten stellen letztendlich die Berandungslinien der zu segmentierenden Flächenstücke dar.

Konventionelle Verfahren zur Kantenfindung (z.B. Gradientenfilter für Grauwertbilder) sind hier prinzipbedingt im Nachteil. Beispielsweise besitzen ebene Flächenstücke, die verkippt zum Sensor liegen, in der Grauwertdarstellung der Tiefenkarte einen Gradienten, obwohl keine Krümmung vorliegt. Zudem sind Kanten des Werkstücks in der Grauwertdarstellung relativ schwach ausgeprägt. Daher ist mit einem konventionellen Kantenfilter keine stabile Kantenextraktion gewährleistet.

Zur Kantenfindung werden aus der Tiefenkarte von Figur 5b zunächst die Normalenvektoren gemäß Figur 7a berechnet. Damit lassen sich den einzelnen Pixeln der Bildmatrix die entsprechenden Normalenvektoren zuordnen. Anschließend wird die

Verkipfung benachbarter Normalenvektoren bestimmt. Ein Kantenbild selbst erhält man durch Binarisierung der Verkipfungsgrößen für jedes Pixel anhand eines applikationsspezifisch zu wählenden Schwellwertes.

- 5 Außerdem kann eine Randbedingung zu berücksichtigen sein, die von der Kompensation der Hintergrundbeleuchtung im Intensitätsbild herrührt. Durch die dort angewendete Tiefpaßfilterung verkleinert sich der auswertbare Bildbereich entsprechend der Größe des Filterkernels. Daher wird zusätzlich zur Binarisierung des Kantenbildes ein Rand um das gesamte Bild in der "Farbe" der Kanten gezogen.

10

Konturpunktverkettung

- Um evtl. auftretende Lücken in den Kantenlinien zu schließen, kommen morphologische Operatoren zur Konturpunktverkettung 51b zum Einsatz. Dabei kann
15 z.B. ein sog. Closing auf das binäre Kantenbild aus dem vorherigen Arbeitsschritt angewendet werden. Das Closing besteht aus einer Dilation gefolgt von einer Erosion.

- Ausgangspunkt für diese Operatoren ist die Definition von Strukturelementen, welche als Operatormasken in die Auswertung eingehen. Diese Masken werden pixelweise
20 über das Ursprungsbild geschoben. Für die Erosion gilt, daß im Ergebnisbild alle Pixel zu 1 gesetzt werden, wenn alle Pixel unterhalb des Strukturelements im Originalbild (hier das Kantenbild) den Wert 1 besitzen. Bei der Dilation wird das entsprechende Pixel im Zielbild zu 1 gesetzt, wenn sich mindestens ein Pixel im Originalbild unterhalb der Maske mit dem Wert 1 befindet. Zu beachten ist, daß es sich dabei um Binärbilder
25 handelt, die definitionsgemäß nur die Werte 0 (Bildhintergrund) und 1 (Kantenlinie) annehmen können. Dies gilt sowohl für die Eingangs- als auch für die Ausgangsbilder.

Regionenzuordnung

- 30 Aus dem Binärbild mit den geschlossenen Kanten wird nun eine Maske für die geometrische Entzerrung 53 erstellt. Mit der Maske sind die einzelnen abgeschlossenen Flächenbereiche eindeutig identifiziert. Dazu wird jedem Pixel eines geschlossenen Flächenstücks in der Maske der gleiche Zahlenwert zugeordnet, so daß mehrere anders numerierte Flächenstücke entstehen, wie **Figur 7c** zeigt. Diese Zahlen
35 können auch unterschiedlichen Graustufen entsprechen, wobei mit 8 bit max. 255 Flächenstücke zugeordnet werden können, wenn der maximale mögliche Grauwert für die Kantendarstellung reserviert bleibt. In dieser Zuordnung ist die Figur 7c eine Maske zur eindeutigen Identifizierung von begrenzten Bildregionen im Gesamtbild. Es sind

mehrere verschiedene Grauwerte dargestellt, die den zugeordneten Zahlenwerten zur Identifizierung entsprechen und wobei jeweils ein Grauwert für nur eine Region vorgesehen ist.

- 5 Diese Regionenzuordnung 51c erfolgt durch ein sog. Labeling, das die Pixelkoordinaten zusammenhängender Gebiete liefert. Der Eingangsdatensatz für diese Zuordnung entspricht also dem binären Kantenbild aus dem vorangegangenen Bearbeitungsschritt.

10 **Beleuchtungskompensation**

- Das aufgenommene Intensitätsbild enthält von Beleuchtung und Oberflächeneigenschaften verursachte Effekte, die einer erfolgreichen Auswertung abträglich sind. Mit zunehmendem Abstand von der Lichtquelle erscheinen die
15 Flächenstücke dunkler und kontrastärmer. Dieser Effekt tritt auch dann auf, wenn die Oberfläche relativ zum Sensor stark verkippt ist. Es hat sich also eine Korrektur sowohl der Helligkeit als auch des Kontrastes als vorteilhaft erwiesen, was im Pfad 52 geschieht, parallel zu dem Pfad 51. Das folgende sind Elemente der Beleuchtungskompensation im Pfad 52.

20

Shading-Korrektur

- Mit einer sog. Shading-Korrektur 52b erreicht man die Herstellung einer gleichmäßigen Grundhelligkeit über das gesamte Bild, unabhängig von einzelnen segmentierten
25 Regionen. Das Zielbild (das global, ohne Aufteilung in der Helligkeit veränderte Bild) besitzt einen Mittelwert, der dem halben maximal möglichen Intensitätswert entspricht, vgl. **Figur 6a**.

- Zur Durchführung der Shading-Korrektur wendet man zunächst eine Tiefpaßfilterung auf das Originalbild an. Dadurch erreicht man eine "Verschmierung" von
30 hochfrequenten Bildanteilen (z.B. scharfe Konturen) und auch eine Verteilung von lokalen Beleuchtungseffekten auf einen größeren Bildbereich⁶.

- Anschließend wird pixelweise die Differenz zwischen dem originalen und dem
35 tiefpaßgefilterten Intensitätsbild gebildet und ein konstanter Offset, der dem halben

⁶ Zamperoni, Methoden der digitalen Bildsignalverarbeitung, Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1989.

maximal möglichen Intensitätswert entspricht, addiert. Im Fall von Grauwertbildern mit 256 Graustufen benutzt man daher einen Offset von 128.

5 Da nach der Ausführung der pixelweisen Differenz die Intensitätswerte um den Wert Null als Mittelwert schwanken, bringt man das Differenzbild durch die Addition des gewünschten Mittelwertes von 128 in eine leicht darstellbare und auswertbare Gestalt.

10 Abhängig von der Größe der Filtermaske geht mit der Tiefpaßfilterung des Intensitätsbildes eine Verkleinerung des auswertbaren Bildbereichs einher. Diese Verkleinerung wird auch bei der Regionensegmentierung berücksichtigt, da ein zusätzlicher, nicht auswertbarer Bildbereich entsteht.

15 Durch die Shading-Korrektur wird ein Bild mit einem im Mittel konstanten Intensitätswert generiert. Für eine zuverlässige Auswertung von Oberflächeneigenschaften reicht dies jedoch noch nicht aus, da sich Eigenheiten der untersuchten Flächenstücke auch im Kontrast widerspiegeln. Daher soll neben einer Korrektur der Grundhelligkeit auch eine Angleichung des Kontrastes vorgenommen werden.

Kontrastangleichung

20

Im Gegensatz zur Shading-Korrektur 52b handelt es sich bei der Kontrastangleichung 52c um eine regionenbasierte Vorgehensweise, d.h. nur innerhalb einer jeweils abgeschlossenen Region werden Änderungen am Kontrast vorgenommen. Zusätzlich zum Intensitätsbild gemäß **Figur 6a** werden aus der
25 Regionenmaske charakteristische Parameter über die Regionen herangezogen, um in jeweils einer Region 1, 2 oder 3 von **Figur 5a** den Kontrast zu verändern.

30 Die Realisierung der Kontrastangleichung erfolgt durch einen einzelnen Fenster bildenden "lokalen Operator", den man abschnittsweise auf ein helligkeitskorrigiertes Bild aus dem vorherigen Abschnitt 52b anwendet, im Sinne einer "lokalen Filterung". Innerhalb eines gerade bearbeiteten Bildfensters werden ein maximaler und ein minimaler Intensitätswert g_{\max} bzw. g_{\min} bestimmt.

35 Dies erfolgt innerhalb eines jeweiligen Fensters mit vorab festgelegter Größe, das anhand eines Vorwissens über das aktuelle Werkstück 20 an entsprechender Stelle der jeweiligen Bildregion platziert wird. Die Referenzparameter (=Vorwissen) für die Kontrastangleichung können aus einem garantiert fehlerfreien Bildbereich oder anhand eines Gutteils, entsprechend der Welle 20 ermittelt werden.

Es wird ein Raster 21 als "lokaler Operator" über die aktuelle Bildregion 3 geschoben, so daß die einzelnen Fenster 30,31,33 des Rasters nebeneinander zu liegen kommen. In jedem Fenster bestimmt man maximalen und minimalen Intensitätswert und
5 berechnet daraus einen Verstärkungsfaktor f_{30} , f_{33} , der dem Quotienten der beiden Kontrastdifferenzwerte "g" entspricht; vgl. hierzu die Figur 6 mit der dortigen Berechnung von f_{30} , f_{33} für die Fenster 30 und 33.

Falls der Verstärkungsfaktor f_{ij} mindestens den Wert 1 besitzt, werden alle
10 Intensitätswerte innerhalb des jeweiligen Fensters mit diesem multipliziert. Mit dieser Schwellwertentscheidung verhindert man, daß Oberflächendefekte, die im Intensitätsbild mit großem Kontrast erscheinen, unerwünscht an fehlerfreie Bildbereiche angeglichen werden. Es entsteht ein im Kontrast verbessertes Bild gemäß Figur 6b.

15 Prüfplan

Sowohl die Positionen des Sensors zur Datenaufnahme als auch die momentan auszuwertenden Bildregionen richten sich nach dem aktuell vorliegenden Werkstück 20. Anhand des Vorwissens wird also ein Prüfplan erstellt werden, der die einzelnen Sensorpositionen und Blickrichtungen definiert. Darüber hinaus verwendet man für jede Ansicht des Werkstücks eine "Vergleichsmaske", um zwischen zu prüfenden und vernachlässigbaren Oberflächenbereichen zu unterscheiden. Jeder interessierenden Bildregion wird ein spezifischer Parametersatz zugeordnet, der z.B. Auflösung des entzerrten Bildes, Idealkontrast und geeignete Prüfmerkmale festlegt.

25 Entzerrung

Ziel einer Entzerrung 53 ist es, von gekrümmten oder zum Sensor verkippten Flächenstücken eine zweidimensionale Repräsentation zu generieren, welche mit
30 existierenden und erprobten Verfahren 54 der Texturanalyse für ebene Oberflächen quantitativ bewertet werden kann.

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Anwendung dieser Verfahren zur Texturanalyse sind, daß die untersuchten Oberflächen keine Krümmung aufweisen und parallel zum
35 CCD-Sensor der Inspektionskamera liegen. Das bedeutet, daß in jedem Kamerapixel Oberflächensegmente gleicher Größe gesehen werden. Die Oberflächen von Werkstücken mit starker dreidimensionaler Ausprägung verletzen im allgemeinen die obigen Forderungen. In vielen Fällen muß eine Prüfung beliebig geformter Oberflächen

(sog. Freiformflächen) durchgeführt werden, so daß die räumliche Geometrie für den Prüfvorgang zu berücksichtigen ist. Durch die Entzerrung wird die geforderte Beziehung zwischen Pixel und Oberflächenelement wiederhergestellt.

- 5 Der Entzerrungsalgorithmus⁷ basiert auf der Berechnung eines Gitternetzes, das der Pixelmatrix überlagert wird. Wie bereits erwähnt, ist es für eine erfolgreiche Anwendung von Verfahren zur zweidimensionalen Texturanalyse notwendig, daß die Oberflächenelemente, die in den Kamerapixeln gesehen werden, alle die gleiche Größe besitzen. Diese Eigenschaft wird durch die einzelnen Gitterelemente des Netzes
10 gewährleistet. Es handelt sich also um Gitterelemente, die auf der 3D-Oberfläche Flächenelemente konstanter räumlicher Ausdehnung beschreiben.

- Für die Gitternetzberechnung ist keine analytische Beschreibung der Oberflächengeometrie notwendig. Es handelt sich hierbei um parametrisierungsfreies
15 Verfahren. Das Gitternetz adaptiert sich an die aktuelle Krümmung der Oberfläche und stellt keine Ebenenapproximation dar. Die einzelnen Gitterelemente werden durch Geradenstücke begrenzt, so daß jedes Element durch vier Linien bzw. durch vier Eckpunkte vollständig charakterisiert ist. Durch diese Art der Berandung entsteht in abgewickelter Form ein Gitternetz mit Rechtecken, das eine reguläre Struktur aufweist
20 – analog zur Pixelmatrix eines CCD-Sensors.

- Jedem Gitterelement wird ein Intensitätswert zugewiesen, der sich unter Berücksichtigung der jeweiligen flächenhaften Ausdehnung aus denjenigen Intensitätswerten bestimmt, die unterhalb dieses Gitterelements im Kamerabild zu
25 finden sind. Die Zuordnung des Intensitätswertes zu jedem Gitterelement erfolgt durch flächenabhängige Gewichtung der durch Pixelmatrix und Gitterlinien berandeten "Regionen" des Gitterelements, Summierung und anschließender Normierung mit der Gesamtfläche des Gitterelements.

⁷ Peter Lang, Image Rectification for Texture Analysis of Freeform Surfaces without Analytic Surface Description, 3D Image Analysis and Synthesis, Erlangen, November 1997;
ders. Combining Intensity Images and Depth Maps for Visual Surface Inspection, 10th IMDSP Workshop, 12. bis 16. Juli 1998, Alpbach, Austria;
ders. Parametrisierungsfreie Entzerrung von gekrümmten Oberflächen zur automatischen visuellen Inspektion, 6. ABW-Workshop 3D-Bildverarbeitung, Technische Akademie Esslingen, 25. bis 26. Januar 1999.

Die Eingangsparameter für die Entzerrung bestimmt man sowohl aus dem Vorwissen als auch aus der aktuellen Aufnahme. Anhand der bekannten Gestalt des Werkstücks legt man Auflösung und Ausrichtung (Winkel) des Gitters fest. Für den Gittermittelpunkt wählt man den Schwerpunkt des momentanen Flächenstücks. Eine Dimensionsangabe für das entzerrte Bild ist nicht unbedingt erforderlich, da das Gitternetz bis zur Flächenberandung wachsen kann.

Das die Entzerrung bewirkende Gitternetz wächst dabei z.B. vom Flächenschwerpunkt bis zum Rand des aktuellen Flächenstücks. Für die oben beschriebene Entzerrungsstrategie sind dabei Erweiterungen sinnvoll, die ein „Umfahren“ von Hindernissen innerhalb der Flächen zulassen. Die einzelnen Gitterpunkte werden dann nicht mehr ausschließlich von der Gittergrundlinie ausgehend berechnet, sondern gegenseitig in Beziehung gesetzt, so daß neue Gitterpunkte aus unmittelbar benachbarten generiert werden können – ähnlich wie ein Algorithmus zum Auffüllen von Flächen mit einer bestimmten Farbe.

Außerdem kann das Gitternetz auch über Kanten hinweg aufgezogen werden. Es wird also nicht gefordert, daß die untersuchte Oberfläche „nur“ gekrümmt (im Sinne eines großen Krümmungsradius) oder eben und verkippt ist. Somit kann das Entzerrungsverfahren leicht an spezielle Aufgabenstellungen angepaßt werden.

Glättung der Tiefendaten

Als letzter Schritt vor der Entzerrung wird im Pfad 50 eine Glättung der Tiefendaten vorgenommen. Ziel dieser Filterung ist die Gewinnung einer makroskopischen Betrachtungsweise des Werkstücks. Durch die Glättung werden Oberflächenrauigkeiten eliminiert, so daß die Entzerrung auf der zugrundeliegenden Oberflächenform ansetzen kann. Die charakteristischen Eigenschaften der Oberfläche (Textur, Defekte, ...) werden anhand des Intensitätsbildes ausgewertet, so daß durch die Entzerrung die abbildungsbedingten Skalierungsunterschiede ausgeglichen werden, ohne Störungen von Oberflächen mit starker Porösität oder Körnigkeit einzubeziehen.

Der Filteralgorithmus orientiert sich am konventionellen Mittelwertfilter für Grauwertbilder. Die Anwendung erfolgt jedoch auf die Tiefenkarte nach Figur 5b, d.h. auf die kartesischen Koordinaten der einzelnen Oberflächenelemente, getrennt nach x-, y- und z-Komponenten. Die drei Datensätze für die Koordinatenkomponenten werden also einzeln gefiltert.

- Die Filtermaske wird pixelweise über die Tiefenkarte geschoben. Für den aktuell zu filternden Tiefenwert wird zunächst evaluiert, ob genügend definierte Tiefenwerte innerhalb der Filterfensters zur Verfügung stehen. Ist dies der Fall, so wird der aktuelle Tiefenwert durch Mittelung aller unter der Filtermaske liegenden Werte berechnet. Dieser Algorithmus wird jeweils auf die x-, y- und z-Komponente angewendet. Der zu filternde Tiefenwert selbst muß dabei nicht definiert sein. Das Verfahren bewirkt also zusätzlich eine weitere Interpolation.
- Durch die Festlegung einer Mindestzahl von definierten Werten im Filterfenster wird dabei verhindert, daß getrennt voneinander zu behandelnde Flächenstücke "ineinanderwachsen" oder vormals undefinierte Bereiche unberechtigtweise mit Tiefendaten aufgefüllt werden.
- Anwendbar sind aber auch andere Arten von Filterung, die eine Glättung bewirken, z.B. ein modifizierter Median-Filter.

Die eingangs angesprochenen Querkopplungen mit den gestrichelten Pfaden 52a, 62b und 62c sollen kurz erläutert werden. Mit ihnen nimmt im Zuge des Gesamtverfahrens die photometrische Information einen Einfluß auf die geometrische Information und anders herum.

Die datentechnische Verbindung von der Helligkeitskorrektur 52b zu der Kantenfilterung 51a in dem Segmentierungspfad 51 hat folgende Funktion. Durch die Helligkeitsbeeinflussung 52b verkleinert sich der auswertbare Bildbereich. Dieses wird mit einer Ausmaskierung des Randbereiches im Kantenbild berücksichtigt.

Bereits zuvor, bevor die Helligkeitskorrektur durchgeführt wird, nimmt die photometrische Information über Pfad 52a Einfluß auf die Interpolation 50a am Ende des Eingangspfades 49 der geometrischen Information. Die Interpolation dient der Ergänzung von durch das Meßverfahren nicht gewonnen Bildpunkten. In sehr dunklen Bereichen werden die Informationen des Intensitätsbildes des Pfades 52 verwendet, um eine Interpolationsrechnung an der entsprechenden Stelle der geometrischen Information im Pfad 49 (der Tiefenkarte) zu unterdrücken. Auch ohne Unterdrückung wären hier keine sinnvollen Ergebnisse bei der Interpolationsrechnung zu erwarten. Dieser Einfluß ist eine lokale Ausmaskierung oder Ausblendung von Tiefeninformation, gesteuert durch dunkle Stellen der Helligkeitsinformation, wobei daran erinnert wird,

daß eine im wesentlichen pixelgenaue Korrespondenz zwischen Tiefeninformation und Helligkeitsinformation besteht.

Der Einfluß 62c von den beiden Funktionsblöcken Regionenzuordnung und Maskierung 51c, 51d, die auch als eine gemeinsame Funktion aufgefaßt werden können, beeinflußt die Kontrastveränderung 52c. Da die Kontrastangleichung individuell für einzelne Regionen erfolgt, die jeweils gerastert bearbeitet werden, wird aus der Regionenzuordnung 51c, 51d die entsprechende Regioneninformation bereitgestellt.

Aus Figur 4 ist ersichtlich, daß die Kontrastangleichung 52c vor der geometrischen Entzerrung 53 liegt, gleichwohl wäre es denkbar und möglich, die Kontrastangleichung auch nach der Entzerrung 53 durchzuführen, in der zuvor eingehend beschriebenen Art und Weise.

* * *

Ansprüche:

1. Verfahren zur Vorbereitung einer automatischen, berührungslosen und zerstörungsfreien Prüfung von nicht senkrecht zu einer optischen Achse (100) ausgerichteten Oberflächen (1,2,3,4;1*,3*) eines zu prüfenden Gegenstandes mittels zumindest einer Sensoranordnung (A,B;A,B1;A_i) zur Gewinnung einer photometrischen Information (Figur 5a) einer ersten Oberfläche (3) und einer dazu korrespondierenden geometrischen Information (Figur 5b) dieser Oberfläche (3) an dem zu prüfenden Gegenstand (20) aus zumindest einer ersten Relativposition von Sensoranordnung und zu prüfendem Gegenstand (20).
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem eine Aufnahme des Gegenstandes durch mehrere, aufeinanderfolgende Einzelmessungen von photometrischer und geometrischer Information erfolgt, wobei zwischen den Einzelmessungen eine Relativbewegung zwischen dem zu prüfendem Gegenstand (20) und der zumindest einen Sensoranordnung erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, mit einer Erfassung des Gegenstandes an zumindest einer weiteren Seite (3*,1*), die aus der mit der ersten Relativposition vorgegebenen Ansicht nicht erfaßbar ist.
4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem zumindest eine weitere Relativposition des Gegenstandes (20) und des Sensors (A) von einer mechanischen Handhabungseinrichtung erzeugt und eingestellt wird, so daß zumindest eine weitere zu prüfende Oberfläche (1,2,3,4) erfaßt werden kann, insbesondere auch solche, die nicht oder nicht vollständig aus der ersten Relativposition oder Lage sichtbar sind.
5. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Geometrieinformation in einen festen Bezug zur photometrischen Information als Helligkeitsinformation gebracht wird.
6. Verfahren nach 1 oder 5, wobei die Geometrieinformation zur Korrektur der photometrischen Information verwendet wird (50,50b,53).
7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 6, bei dem die Veränderung der photometrischen Information (52) durch eine sich über das ganze Bild erstreckende Helligkeitsentzerrung (52b) erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 1 oder 6, bei dem die Korrektur der photometrischen Information durch mehrere lokal begrenzte (30,31,33) Kontrastentzerrungen erfolgt.
9. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem eine zusätzliche Korrektur der photometrischen Information durch eine Farbentzerrung erfolgt (52).
10. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die photometrische Information durch eine geometrische Entzerrung als räumliche Lage- oder Richtungsveränderung erfolgt (53).
11. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Korrektur der photometrischen Information durch geometrische Entzerrung (53) mit Hilfe eines krümmungsadaptiven Gitternetzes erfolgt, adaptiert von einer geglätteten (50b) geometrischen Information (50).
12. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem Punkte zur geometrischen Entzerrung mit einem krümmungsadaptiven Gitternetz aufgrund von Nachbarschaftsbeziehungen berechnet werden (53).
13. Verfahren nach Anspruch 1 oder 6, bei dem Regionen (1,2,3,4) im Bild mit Hilfe der photometrischen Information gebildet werden.
14. Verfahren nach Anspruch 1 oder 6 oder 13, bei dem Regionen in der photometrischen Information mit Hilfe der geometrischen Information gebildet werden (51a,51b,51c,51d).
15. Verfahren nach Anspruch 1 oder 6, bei dem die Informationen geometrische und photometrische Meßwerte (Bildraten) des zu prüfenden Gegenstandes sind.
16. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem nach der Vorbereitung der Bilddaten eine Prüfung (54) durch eine Methode der Oberflächenanalyse erfolgt.
17. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Geometrieinformation und die photometrische Information in einem festen Bezug steht und durch eine Umrechnung zu einer pixelgenauen Deckungsgleichheit gebracht wird.

18. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die photometrische Information ein Schwarzweiß- oder Farb-Bild der ersten Oberfläche (3) ist.
19. Verfahren nach Anspruch 1 und 5, bei dem nach der Vorbereitung der Bilddaten eine Prüfung (54) durch eine Methode der Formanalyse erfolgt.
- s 20. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem nach der Vorbereitung der Bilddaten eine Prüfung (54) durch eine Texturanalyse erfolgt.

. . .

21. Verfahren zur Bearbeitung von Bilddaten eines automatisiert zu prüfenden Objekts (20), das mehrere Regionen (1,2,3,4) aufweist, umfassend folgende Verfahrensschritte:

- (a) Aufzeichnen von Bilddaten zumindest eines Ausschnitts des Objekts (20) über zumindest eine erste optische Sensoranordnung (A,B;B1,A), wobei zumindest eine der Regionen (3) des Prüfobjektes zumindest eine nicht ausgerichtete Oberfläche besitzt, deren Erstreckung nicht im wesentlichen senkrecht zu einer optischen Achse (100) der Sensoranordnung ausgerichtet verläuft;
- (b) Durchführen einer lokalen Filterung der Bilddaten innerhalb der einen Oberfläche der zumindest einen Region (3) in einem im wesentlichen gleichmäßigen Raster (21) durch Bildung einer Vielzahl von gegenüber der Oberfläche kleineren Rasterbereichen (30,31,33) in der Oberfläche bzw. den Bilddaten der Oberfläche, wobei eine Kontrastbeeinflussung auf der Oberfläche der Region (3) so erfolgt, daß
- zwei Referenzparameter als ein erster maximaler und ein erster minimaler Kontrastwert ($g_{\max r}$, $g_{\min r}$) für die Rasterbereiche der Oberfläche gleich bleiben;
 - in jedem einzelnen der Rasterbereiche (30,31,33) der Oberfläche mehrere Kontrastwerte vorliegen und gesondert ein zweiter maximaler und ein zweiter minimaler Kontrastwert ($g_{\max 30}$, $g_{\min 30}$) aus den Kontrastwerten eines Rasterbereiches (30) für diesen Rasterbereich bestimmt wird;
 - ein Verstärkungsfaktor (f_{30}) aus den vier vorgenannten Kontrastwerten für den Rasterbereich (30) errechnet wird, aus dem die zweiten Kontrastwerte stammen und mit diesem Faktor die mehreren Kontrastwerte (Helligkeitswerte) dieses Rasterbereichs (30) beeinflußt werden;
- zur entzerrenden Bearbeitung der Bilddaten der nicht ausgerichteten Oberfläche und Vorbereitung für eine Bearbeitung mit einer Methode der Oberflächenanalyse.

22. Verfahren nach Anspruch 21, wobei eine Helligkeitskorrektur vor oder nach der Kontrastbeeinflussung über die gesamten Bilddaten des im Bild abgebildeten Ausschnitts des Prüfobjektes (20) erfolgt, unabhängig von den Regionen (1,2,3,4) des Prüfobjektes und unabhängig von der lokalen Filterung der Oberfläche mit den einzelnen Rasterbereichen (30,31,33).

23. Verfahren nach Anspruch 21, wobei zumindest eine Oberfläche des Prüfobjektes (20)
- (i) in sich gekrümmt verläuft oder mehrere Oberflächen zusammen eine dreidimensionale Begrenzung eines Abschnitts des zu prüfenden Objektes darstellen;
- oder
- (ii) eine plane (ebene) Oberfläche aufweist, die nicht im wesentlichen senkrecht zur optischen Achse (100) der Sensoranordnung ausgerichtet ist.
24. Verfahren zur Bearbeitung von Bilddaten eines Bildes einer automatisiert zu prüfenden Objektes (20), das mehrere Regionen (1,2,3,4) aufweist, umfassend folgende Verfahrensschritte:
- (a) Aufzeichnen von Bilddaten des Prüfobjektes (20) über zumindest eine erste optische Sensoranordnung (A,B1) als ein Ausgangsbild, wobei zumindest eine der Regionen (3) des Prüfobjektes zumindest eine Oberfläche besitzt, deren Erstreckung nicht im wesentlichen senkrecht zu einer optischen Achse (100) der Sensoranordnung (A) ausgerichtet verläuft;
- (b) Herstellen einer im wesentlichen gleichmässigen Grundhelligkeit über die aufgezeichneten Bilddaten des Ausgangsbildes zur Bildung eines bearbeiteten Bildes, durch eine Differenzbildung zwischen dem Ausgangsbild und einem - nach einem Tiefpassfiltern des Ausgangsbilds entstehenden - konturenschwächeren Hilfsbild;
- zur Bearbeitung der Bilddaten der nicht ausgerichteten Oberfläche und Vorbereitung für eine Bearbeitung mit einem Verfahren der Oberflächenanalyse.
25. Verfahren nach Anspruch 24, mit Anwenden einer Kontrastbeeinflussung nach einem der Ansprüche 21 bis 23, zumindest in einer Region (1;1*,3,3*) des Bildes.
26. Verfahren nach Anspruch 24, mit Addition eines festen Intensitätswertes auf das und über ein als bearbeitetes Bild entstehendes Differenzbild.

27. Verfahren zur Bearbeitung von Bilddaten eines Bildes eines automatisiert zu prüfenden Objekts (20), das mehrere Regionen (1,2,3,4) aufweist, umfassend folgende Verfahrensschritte:

(a) Aufzeichnen von Bilddaten zumindest eines Ausschnitts des Objekts (20) über zumindest einen ersten optischen Sensor (A), wobei zumindest eine der Regionen (3) des Prüfobjektes zumindest eine nicht ausgerichtete Oberfläche besitzt, deren Erstreckung nicht im wesentlichen senkrecht zu einer optischen Achse (100) des Sensors (A) ausgerichtet verläuft;

(b) Durchführen einer lokalen Filterung der Bilddaten innerhalb der einen Oberfläche der zumindest einen Region (3) in einem im wesentlichen gleichmäßigen Raster (21) durch Bildung einer Vielzahl von gegenüber der Oberfläche kleineren Rasterbereichen (30,31,33) in der Oberfläche bzw. den Bilddaten des Bildes der Oberfläche, wobei eine

Kontrastbeeinflussung auf der Oberfläche der Region (3) so erfolgt, daß

- jeweils ein Rasterbereich (30) für sich und gesondert in seinem Kontrast verändert wird (f_{30}), insbesondere hinsichtlich der den Kontrast ergebenden Bildpunkte in dem Rasterbereich (30).

28. Verfahren nach Anspruch 27, wobei für jeweils einen Rasterbereich (30) ein für ihn geltender Faktor berechnet wird (f_{30}), zur Kontrastveränderung in diesem Rasterbereich.

29. Verfahren nach Anspruch 28, wobei die Veränderung eine Multiplikation von Bildpunkten im Rasterbereich mit dem Faktor (f_{30}) ist.

30. Verfahren nach Anspruch 28, wobei die Kontrastveränderung in einem Rasterbereich (31) nicht erfolgt, wenn ein für diesen Bereich (31) berechneter Veränderungsfaktor (f_{31}) kleiner oder im wesentlichen gleich 1 (Eins) ist.

31. Verfahren nach Anspruch 21, 24 oder 27, wobei die Kontrastveränderung im wesentlichen für jeden Rasterbereich auf der Oberfläche eigenständig erfolgt.

32. Verfahren nach Anspruch 21, wobei die **lokale Filterung** eine Vorgabe eines gleichmäßigen Rasters mit im wesentlichen gleichen Rasterflächenelementen als Rasterbereiche (30,31) auf der Oberfläche ist, ausgenommen die Randbereiche der Oberfläche.

33. Verfahren nach Anspruch 29, wobei der Faktor (f_{30}) so aufgebaut ist, daß in einem Rasterbereich mit geringem Kontrast alle dort befindlichen Bildpunkte eine Kontrasterhöhung erfahren.
- 5 34. Verfahren nach Anspruch 29, wobei der Kontrast jedes Bildpunktes in einem jeweiligen Rasterbereich (30) im wesentlichen gemäß $y = f \cdot x + a$ verändert wird, wobei
- 10 f der Faktor (f_{30}) für den jeweiligen Rasterbereich (30),
y die Helligkeit nach der Bearbeitung,
x die Helligkeit vor der Bearbeitung,
a eine Konstante ist.

* * *

Fig. 1

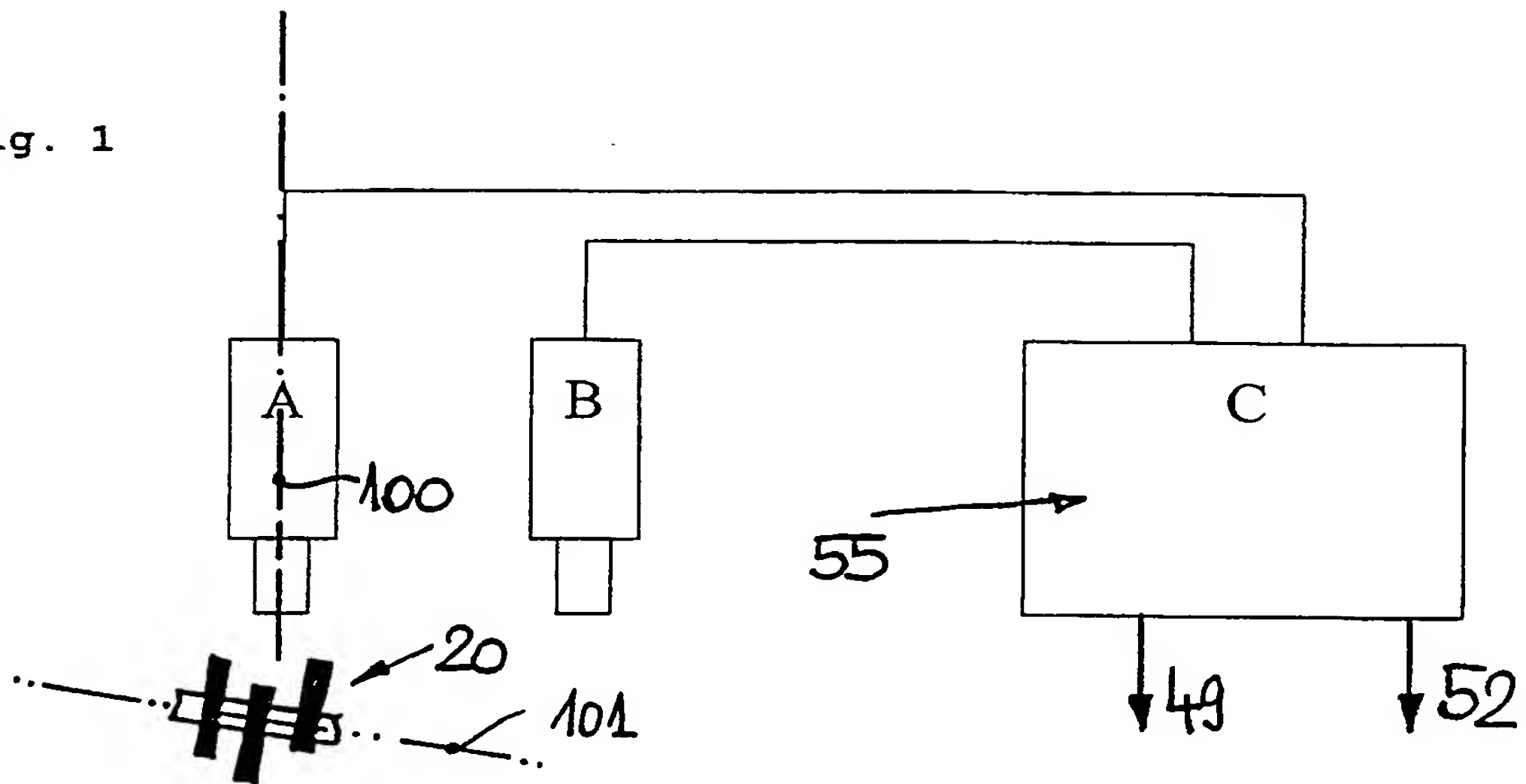


Fig. 2

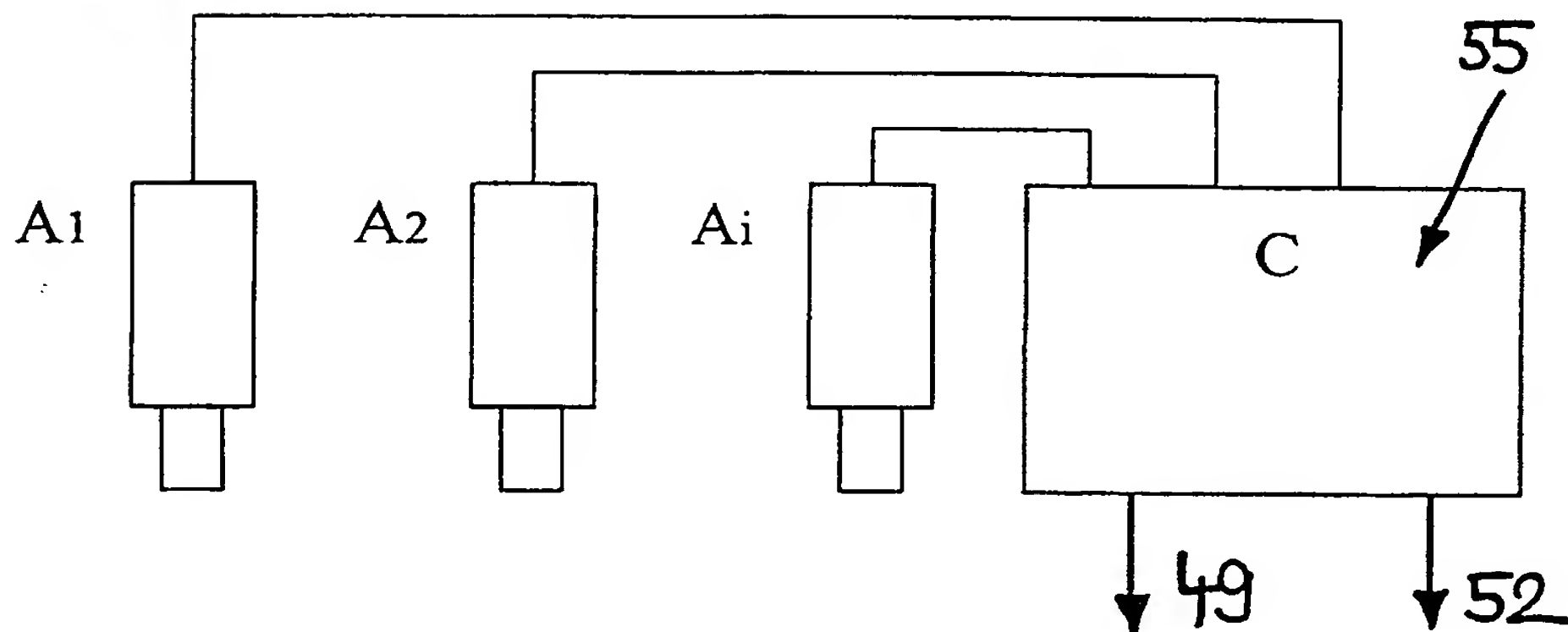


Fig. 3

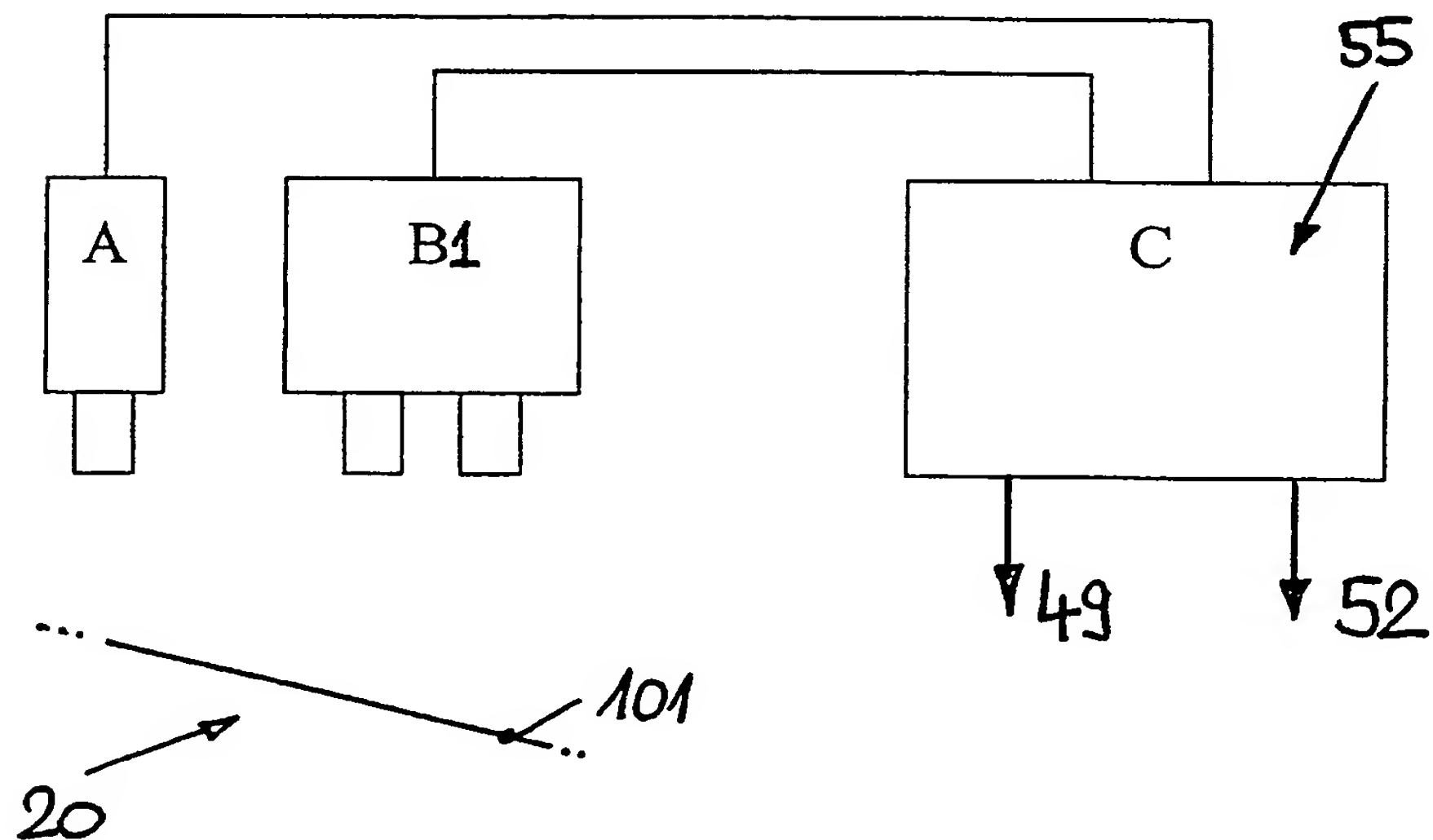


Fig. 4

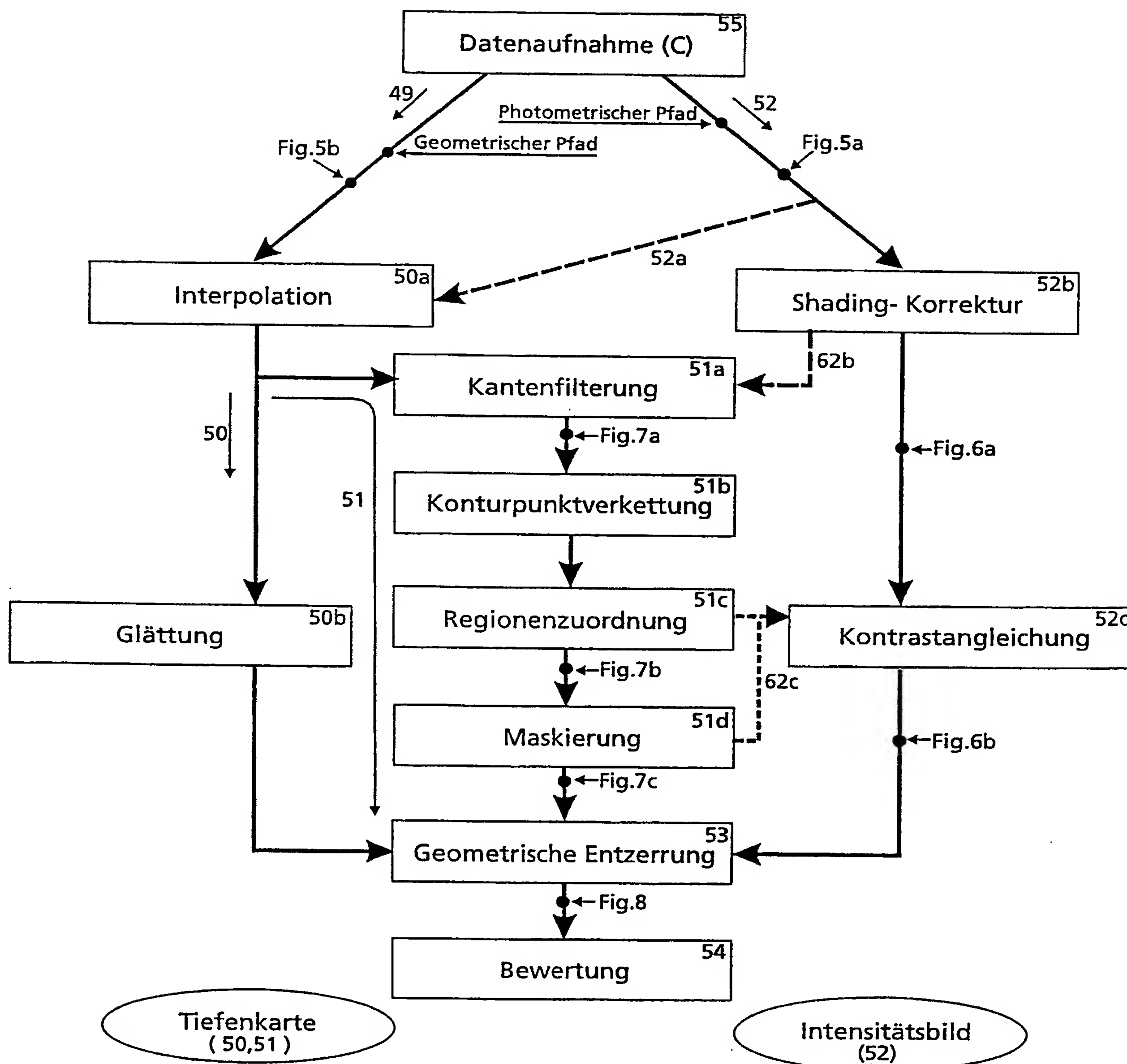


Fig. 5a

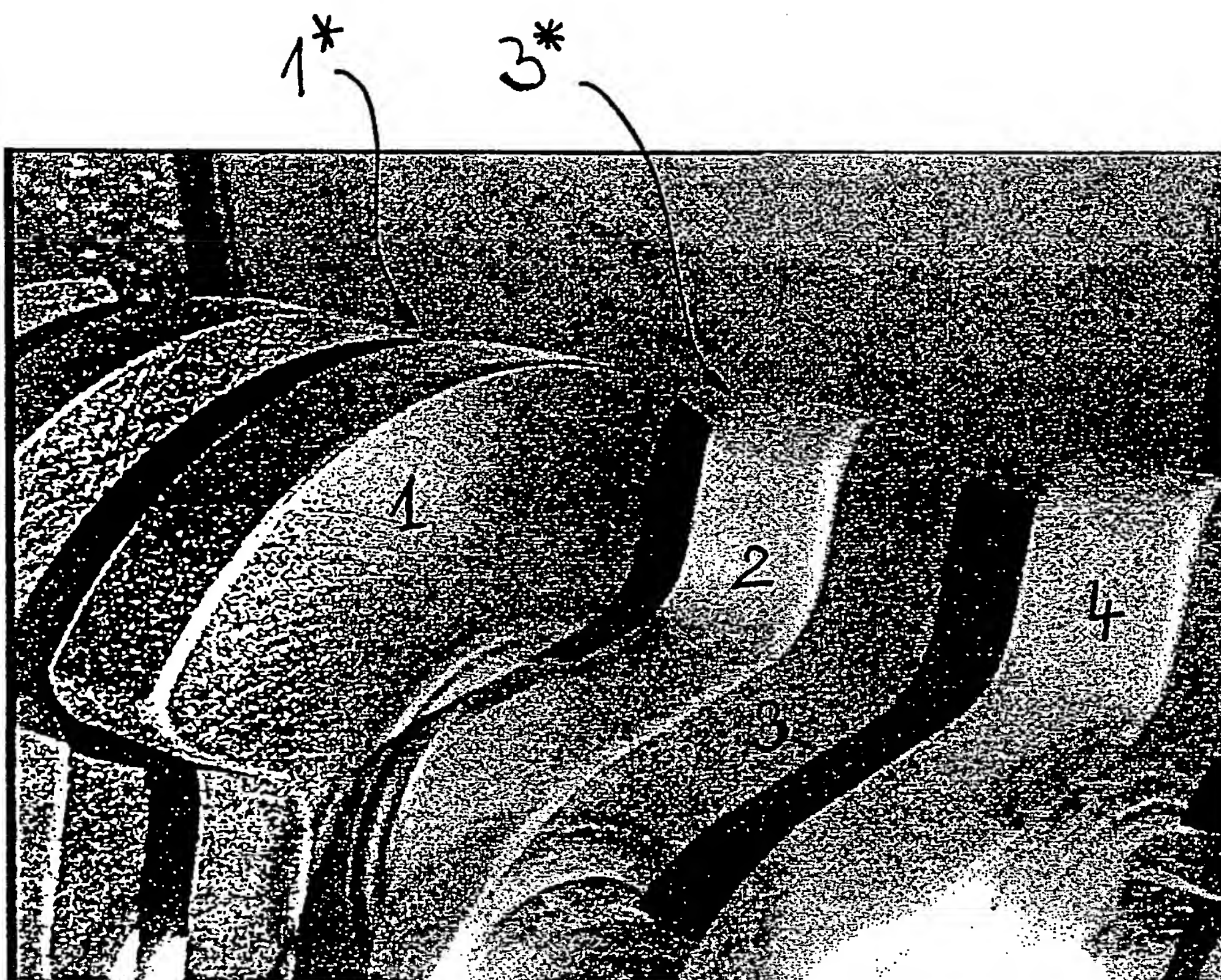


Fig. 5b

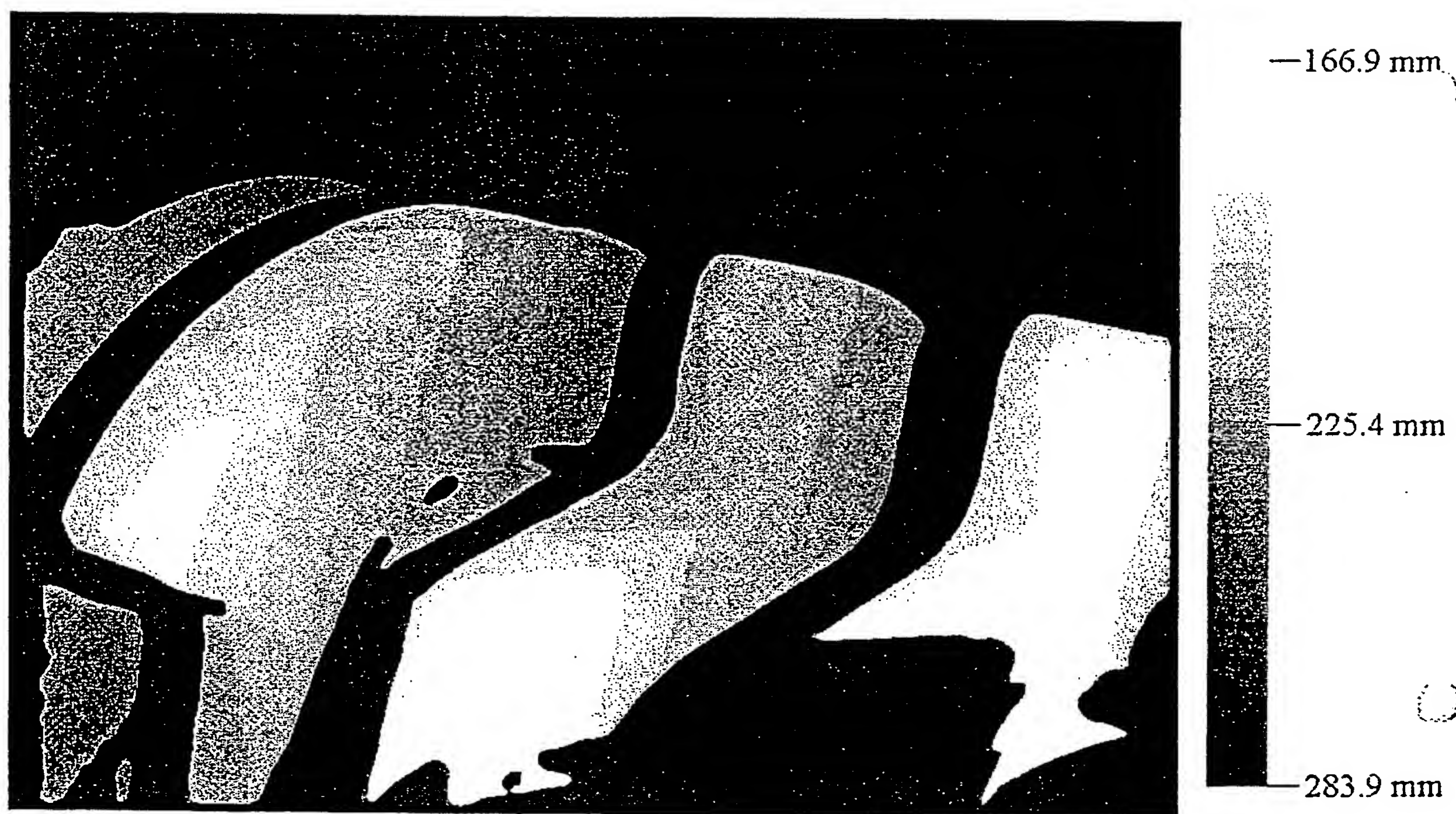
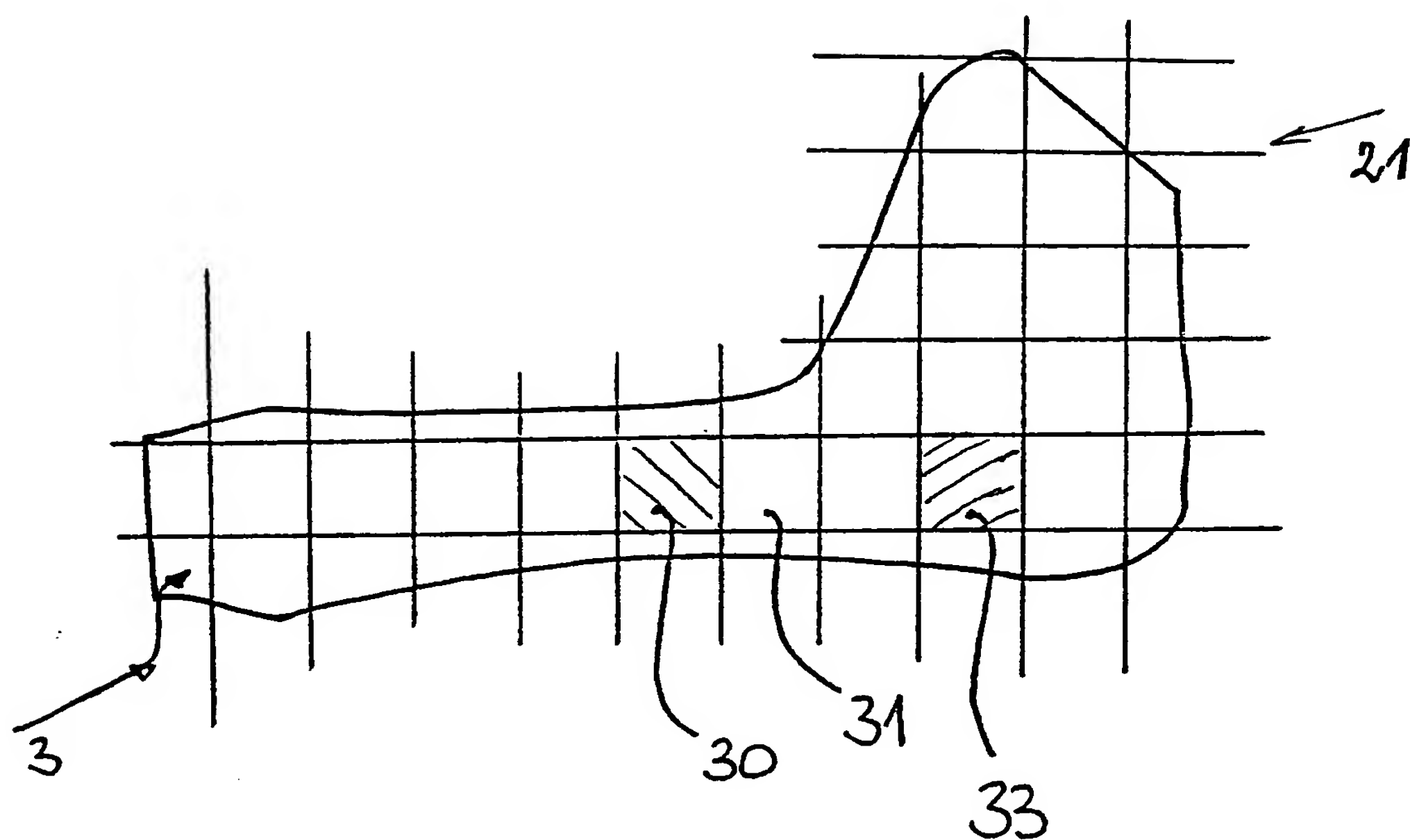


Fig. 6



$$f_{33} = \frac{g_{\max r} - g_{\min r}}{g_{\max 33} - g_{\min 33}}$$

$$f_{30} = \frac{g_{\max r} - g_{\min r}}{g_{\max 30} - g_{\min 30}}$$

Fig. 6a



Fig. 6b

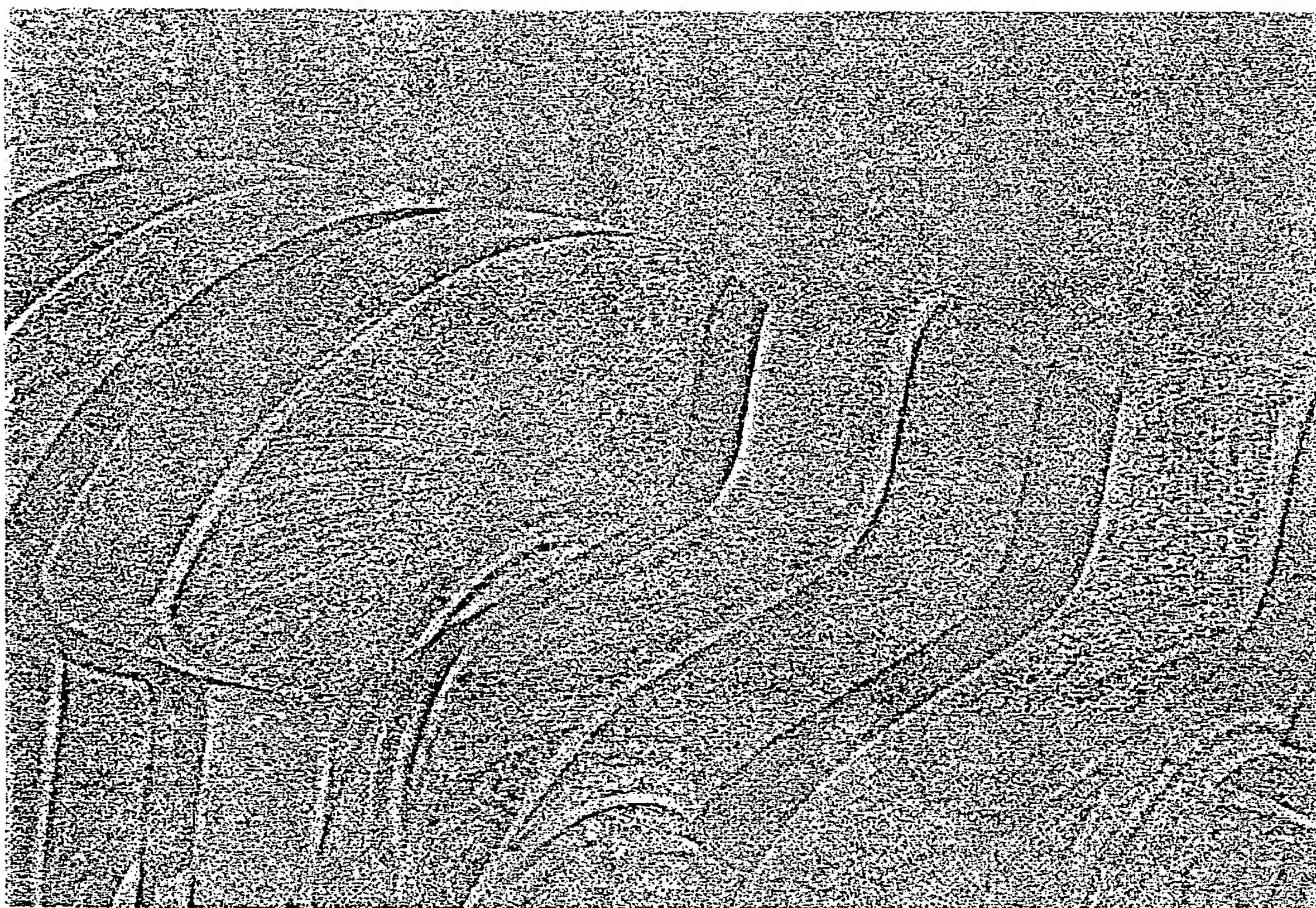


Fig. 7a



Fig. 7b

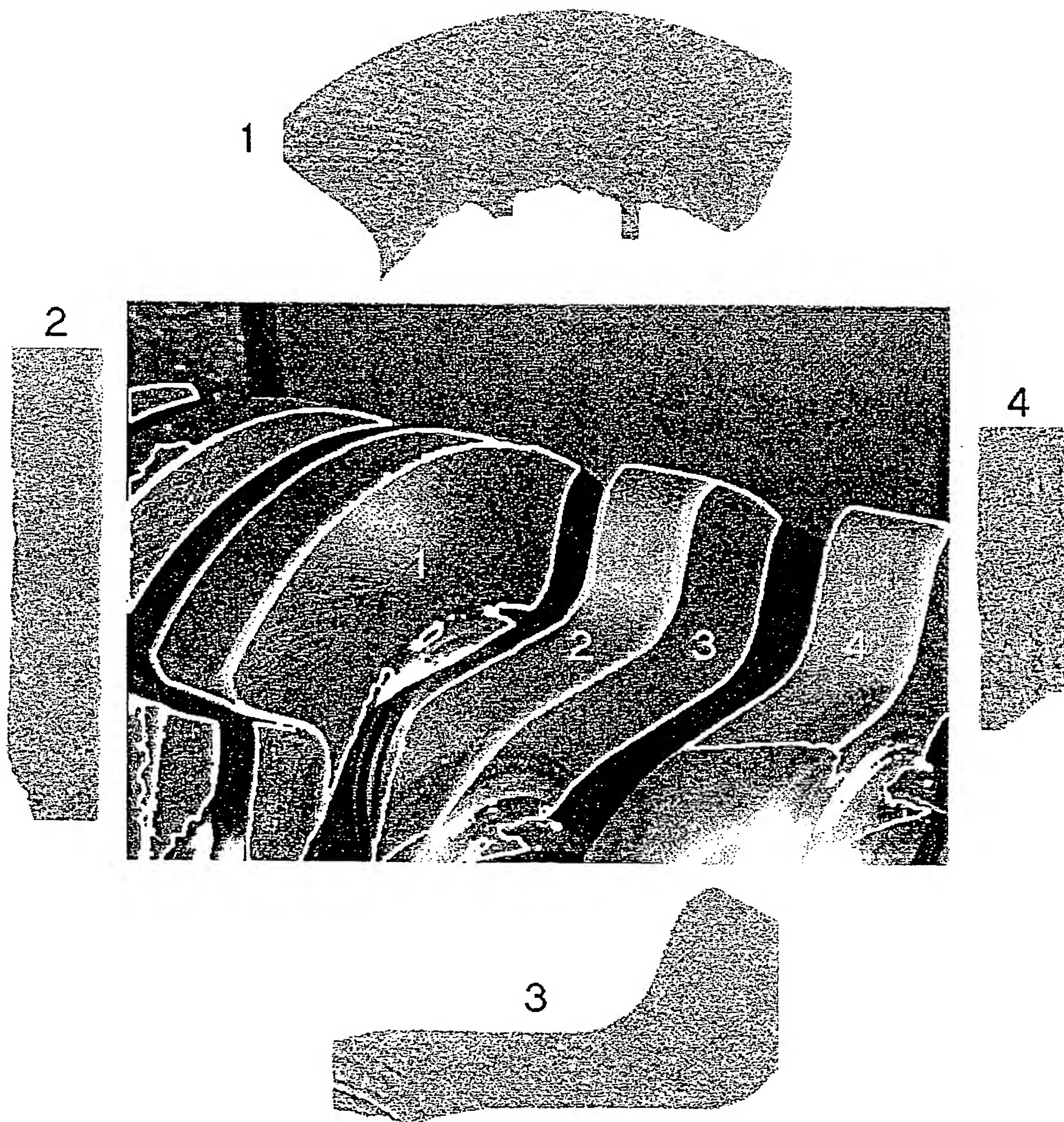


Fig. 7c



ERSATZBLATT (REGEL 26)

Fig. 8



THIS PAGE BLANK (USPTO)

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Oktober 2000 (26.10.2000)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 00/63681 A3

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01N 21/88, 21/95, G01B 11/24, G06T 7/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/01228

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. April 2000 (19.04.2000)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
199 17 619.1 19. April 1999 (19.04.1999) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE).

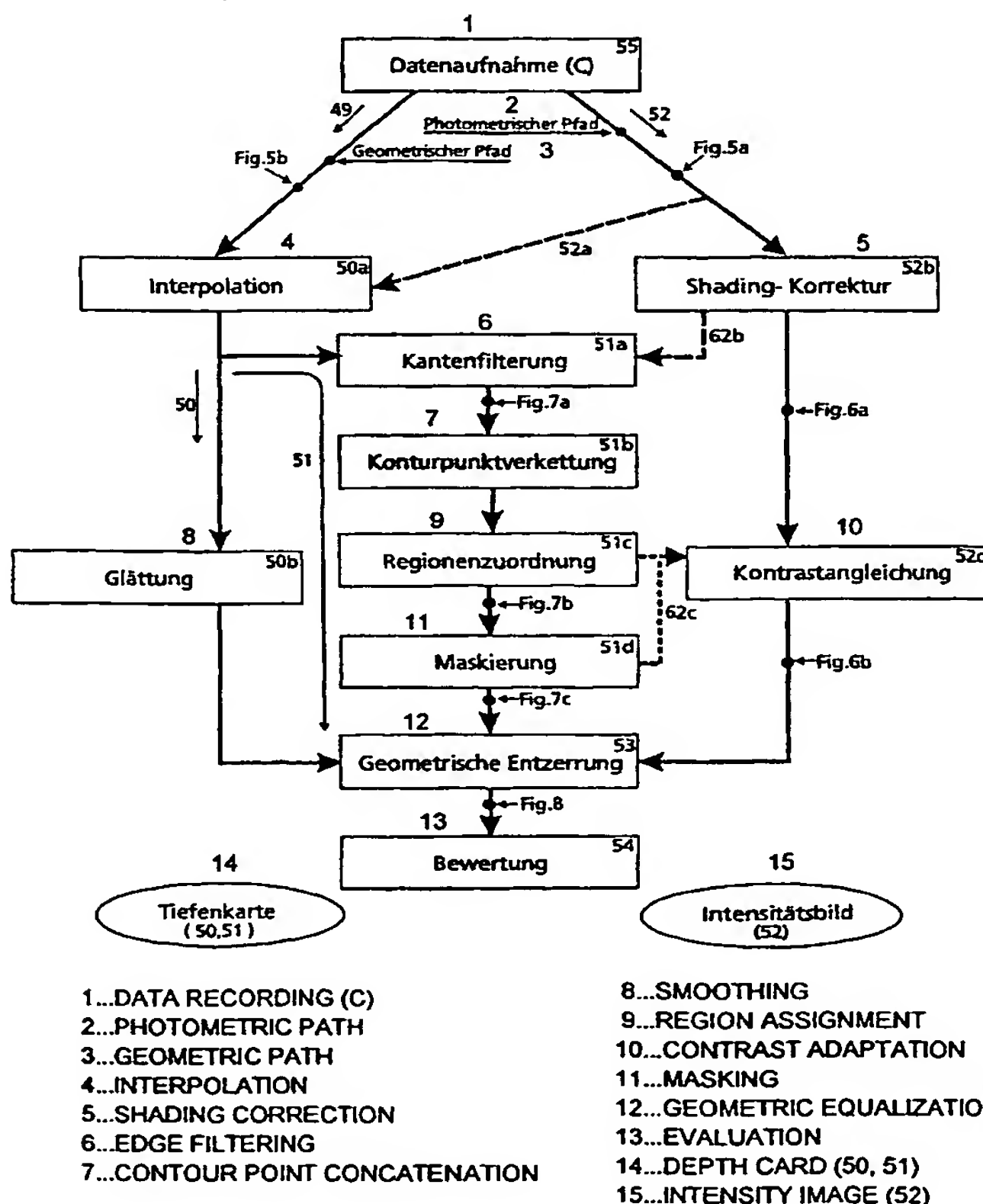
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LANG, Peter [DE/DE]; Am Tennenbach 29, D-91080 Spardorf (DE). SPINNLER, Klaus [DE/DE]; Lerchenbuehl 9c, D-91056 Erlangen (DE). SCHRAMM, Ullrich [DE/DE]; Schillerweg 1, D-91336 Heroldsbach (DE). BAUER, Norbert [DE/DE]; Volckamerstrasse 14, D-91058 Erlangen (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: IMAGE EDITING FOR PREPARING A TEXTURE ANALYSIS

(54) Bezeichnung: BILDBEARBEITUNG ZUR VORBEREITUNG EINER TEXTURNALYSE



(57) Abstract: The invention relates to a method for preparing an automatic, contactless and non-destructive testing of surfaces (1, 2, 3, 4; 1*, 3*) of an object to be tested, whereby said surfaces are not perpendicularly aligned with regard to an optical axis (100). The inventive method uses at least one sensor array (A, B; A, B1; A_i) in order to extract, from at least one first relative position of the sensor array and of the object (20) to be tested, an item of photometric information (Figure 5a) concerning a first surface (3) located on the object (20) to be tested and of a corresponding item of geometric information (Figure 5b) also concerning said surface (3). The method consists of the following steps: (a) recording image data of at least one section of the object (20) using at least one first optical sensor array (A, B; B1, A), whereby at least one of the regions (3) of the test object comprises at least one unaligned surface whose span extends in a manner which is not substantially perpendicular to an optical axis (100) of the sensor array, and; (b) executing a local filtering of image data within the one surface of at least one region (3) in an essentially uniform raster (21) by forming a multitude of raster areas (30, 31, 33) in the surface or in the image data of the surface which are smaller than the surface.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 00/63681 A3



(74) **Anwälte:** LEONHARD, Reimund usw.; Leonhard Olgemoeller Fricke, Postfach 10 09 57, D-80083 München (DE).

Veröffentlicht:

— Mit internationalem Recherchenbericht.

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** CA, DE, JP, US.

(88) **Veröffentlichungsdatum des internationalen
Recherchenberichts:**

29. März 2001

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vorbereitung einer automatischen, berührungslosen und zerstörungsfreien Prüfung von nicht senkrecht zu einer optischen Achse (100) ausgerichteten Oberflächen (1, 2, 3, 4; 1*, 3*) eines zu prüfenden Gegenstandes mittels zumindest einer Sensoranordnung (A, B; A, B1; A_i) zur Gewinnung einer photometrischen Information (Figur 5a) einer ersten Oberfläche (3) und einer dazu korrespondierenden geometrischen Information (Figur 5b) dieser Oberfläche (3) an dem zu prüfenden Gegenstand (20) aus zumindest einer ersten Relativposition von Sensoranordnung und zu prüfendem Gegenstand (20). Das Verfahren umfaßt dabei mehrere Verfahrensschritte: (a) Aufzeichnen von Bilddaten zumindest eines Ausschnitts des Objekts (20) über zumindest eine erste optische Sensoranordnung (A, B; B1, A), wobei zumindest eine der Regionen (3) des Prüfobjektes zumindest eine nicht ausgerichtete Oberfläche besitzt, deren Erstreckung nicht im wesentlichen senkrecht zu einer optischen Achse (100) der Sensoranordnung ausgerichtet verläuft; und (b) Durchführen einer lokalen Filterung der Bilddaten innerhalb der einen Oberfläche der zumindest einen Region (3) in einem im wesentlichen gleichmäßigen Raster (21) durch Bildung einer Vielzahl von gegenüber der Oberfläche kleineren Rasterbereichen (30, 31, 33) in der Oberfläche bzw. den Bilddaten der Oberfläche.

International Application No
PCT/DE 00/01228

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01N21/88 G01N21/95 G01B11/24 G06T7/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01N G01B G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 197 39 250 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 26 March 1998 (1998-03-26) cited in the application	1-4
Y	column 1, line 3-36	21,24,27
A	column 3, line 49 -column 4, line 18 column 4, line 63 -column 5, line 47; figures 1-3	5,13,14
Y	JP 01 277743 A (YASUNAGA:KK;OTHERS: 01) 8 November 1989 (1989-11-08) abstract	1-5
Y.	US 5 379 347 A (KATO NORIHIIDE ET AL) 3 January 1995 (1995-01-03) column 6, line 7 -column 8, line 25 column 9, line 51 -column 12, line 53; figures 2-8,12-15	1-5

-/--

X Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

• **Special categories of cited documents :**

- *A*** document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E*** earlier document but published on or after the international filing date
- *L*** document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O*** document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P*** document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- *& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 November 2000

Date of mailing of the international search report

14. 12. 00

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Stuebner, B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 00/01228

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 98 44315 A (HAGA KAZUMI ; SAKAI MOTOSHI (JP); ISHIGURO YOSHIHIRO (JP); NEWCREAT) 8 October 1998 (1998-10-08) column 4, line 57 -column 6, line 48 column 8, line 13 - line 40; figures 1-5 Zitatstellen siehe EP-A- 1001249 (2000-05-17)	1
Y	DE 43 13 258 A (BEIERSDORF AG) 27 October 1994 (1994-10-27) page 6, line 66 -page 9, line 7; figure 1	1
A	US 5 438 525 A (SHIMBARA YOSHIMA) 1 August 1995 (1995-08-01) column 7, line 55 -column 9, line 12	1
A	EP 0 456 126 A (MASSEN ROBERT) 13 November 1991 (1991-11-13) column 11, line 22 -column 12, line 24; figures 3-6	1
A	JP 10 300446 A (NISSAN MOTOR CO LTD) 13 November 1998 (1998-11-13) abstract	1,11
Y	US 4 825 297 A (FUCHSBERGER HERMANN ET AL) 25 April 1989 (1989-04-25)	21,24,27
A	column 1, line 8 - line 28 column 2, line 15 -column 3, line 4 column 5, line 15 -column 6, line 56	25,28,29
Y	EP 0 813 336 A (FUJI PHOTO FILM CO LTD) 17 December 1997 (1997-12-17)	21,24,27
A	page 5, line 10 - line 41; claims 1-8	25,31,32
Y	US 5 805 721 A (VUYLSTEKE PIETER PAUL ET AL) 8 September 1998 (1998-09-08)	24,27
A	column 3, line 54 -column 5, line 50	21,25,31
A	US 5 185 812 A (YAMASHITA KYOJI ET AL) 9 February 1993 (1993-02-09) column 2, line 23 -column 3, line 31	21,24,27
A	US 5 594 767 A (HSIEH JIANG) 14 January 1997 (1997-01-14) column 4, line 34 - line 46	21,27
P,A	US 6 055 340 A (NAGAO KIMITOSHI) 25 April 2000 (2000-04-25) see also JP10243238 and JP10243239 published 11.09.1998 column 9, line 48 -column 12, line 34	21,24,27

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE 00/01228

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see supplemental sheet

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐
☒

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
No protest accompanied the payment of additional search fees.

The International Searching Authority has found that this international application contains multiple inventions, as follows:

1. Claims Nos. 1-20

Method for preparing a... test

- a) of surfaces, which are not perpendicularly aligned with regard to an optical axis, of an object to be tested;
- b) using at least one sensor array for extracting an item of photometric information concerning a first surface and extracting a corresponding item of geometric information also concerning said surface...

2. Claims Nos. 21-23, 27-34

Method for processing image data of an... object, which has a number of regions, comprising the following steps:

- a) See step a) of the method depicted in the first invention; and
- b) executing a local filtering of the image data within the one surface of the at least one region in an essentially uniform raster by forming a multitude of raster areas in the surface which are smaller than the surface...

3. Claims Nos. 24-26, 31

Method for processing image data of an... object, which has a number of regions, comprising the following steps:

- a) See step a) of the method depicted in the first invention; and
- b) producing an essentially uniform background brightness over the displayed image data of the output image for forming a processed image, by subtracting the output image from a weaker contour auxiliary image, which is produced after subjecting the output image to a low-pass filtering.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 00/01228

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19739250 A	26-03-1998	NONE	
JP 01277743 A	08-11-1989	NONE	
US 5379347 A	03-01-1995	JP 2941107 B JP 5164699 A JP 5164700 A JP 5164703 A JP 2904983 B JP 5172757 A GB 2262339 A, B	25-08-1999 29-06-1993 29-06-1993 29-06-1993 14-06-1999 09-07-1993 16-06-1993
WO 9844315 A	08-10-1998	JP 10267636 A EP 1001249 A	09-10-1998 17-05-2000
DE 4313258 A	27-10-1994	WO 9424936 A EP 0695140 A JP 8509146 T	10-11-1994 07-02-1996 01-10-1996
US 5438525 A	01-08-1995	JP 6148092 A DE 4338223 A	27-05-1994 11-05-1994
EP 0456126 A	13-11-1991	DE 4014661 A AT 128551 T DE 59106567 D JP 2001906 C JP 6011456 A JP 7033998 B US 5333208 A	14-11-1991 15-10-1995 02-11-1995 20-12-1995 21-01-1994 12-04-1995 26-07-1994
JP 10300446 A	13-11-1998	NONE	
US 4825297 A	25-04-1989	DE 3629409 A CH 675640 A GB 2195857 A, B JP 1865162 C JP 5068147 B JP 63059266 A	03-03-1988 15-10-1990 13-04-1988 26-08-1994 28-09-1993 15-03-1988
EP 0813336 A	17-12-1997	JP 9331437 A JP 10013679 A JP 10013680 A	22-12-1997 16-01-1998 16-01-1998
US 5805721 A	08-09-1998	DE 69214229 D DE 69214229 T EP 0527525 A JP 5244508 A US 5467404 A	07-11-1996 30-04-1997 17-02-1993 21-09-1993 14-11-1995
US 5185812 A	09-02-1993	JP 2912930 B JP 3248547 A JP 3278057 A	28-06-1999 06-11-1991 09-12-1991
US 5594767 A	14-01-1997	DE 19635017 A JP 9182746 A	07-05-1997 15-07-1997
US 6055340 A	25-04-2000	JP 10243238 A JP 10243239 A	11-09-1998 11-09-1998

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/01228

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 N21/88 G01N21/95 G01B11/24 G06T7/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01N G01B G06T

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 197 39 250 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 26. März 1998 (1998-03-26) in der Anmeldung erwähnt	1-4
Y	Spalte 1, Zeile 3-36	21, 24, 27
A	Spalte 3, Zeile 49 - Spalte 4, Zeile 18 Spalte 4, Zeile 63 - Spalte 5, Zeile 47; Abbildungen 1-3	5, 13, 14
Y	JP 01 277743 A (YASUNAGA:KK;OTHERS: 01) 8. November 1989 (1989-11-08) Zusammenfassung	1-5
Y	US 5 379 347 A (KATO NORIHIRO ET AL) 3. Januar 1995 (1995-01-03) Spalte 6, Zeile 7 - Spalte 8, Zeile 25 Spalte 9, Zeile 51 - Spalte 12, Zeile 53; Abbildungen 2-8, 12-15	1-5
	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

30. November 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14. 12. 00

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Stuebner, B

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 98 44315 A (HAGA KAZUMI ;SAKAI MOTOSHI (JP); ISHIGURO YOSHIHIRO (JP); NEWCREAT) 8. Oktober 1998 (1998-10-08) Spalte 4, Zeile 57 -Spalte 6, Zeile 48 Spalte 8, Zeile 13 - Zeile 40; Abbildungen 1-5 Zitatstellen siehe EP-A- 1001249 (2000-05-17)	1
Y	DE 43 13 258 A (BEIERSDORF AG) 27. Oktober 1994 (1994-10-27) Seite 6, Zeile 66 -Seite 9, Zeile 7; Abbildung 1	1
A	US 5 438 525 A (SHIMBARA YOSHIMA) 1. August 1995 (1995-08-01) Spalte 7, Zeile 55 -Spalte 9, Zeile 12	1
A	EP 0 456 126 A (MASSEN ROBERT) 13. November 1991 (1991-11-13) Spalte 11, Zeile 22 -Spalte 12, Zeile 24; Abbildungen 3-6	1
A	JP 10 300446 A (NISSAN MOTOR CO LTD) 13. November 1998 (1998-11-13) Zusammenfassung	1,11
Y	US 4 825 297 A (FUCHSBERGER HERMANN ET AL) 25. April 1989 (1989-04-25)	21,24,27
A	Spalte 1, Zeile 8 - Zeile 28 Spalte 2, Zeile 15 -Spalte 3, Zeile 4 Spalte 5, Zeile 15 -Spalte 6, Zeile 56	25,28,29
Y	EP 0 813 336 A (FUJI PHOTO FILM CO LTD) 17. Dezember 1997 (1997-12-17)	21,24,27
A	Seite 5, Zeile 10 - Zeile 41; Ansprüche 1-8	25,31,32
Y	US 5 805 721 A (VUYLSTEKE PIETER PAUL ET AL) 8. September 1998 (1998-09-08)	24,27
A	Spalte 3, Zeile 54 -Spalte 5, Zeile 50	21,25,31
A	US 5 185 812 A (YAMASHITA KYOJI ET AL) 9. Februar 1993 (1993-02-09) Spalte 2, Zeile 23 -Spalte 3, Zeile 31	21,24,27
A	US 5 594 767 A (HSIEH JIANG) 14. Januar 1997 (1997-01-14) Spalte 4, Zeile 34 - Zeile 46	21,27
P,A	US 6 055 340 A (NAGAO KIMITOSHI) 25. April 2000 (2000-04-25) see also JP10243238 and JP10243239 published 11.09.1998 Spalte 9, Zeile 48 -Spalte 12, Zeile 34	21,24,27

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen
PCT/DE 00/01228

Feld I Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche die Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich
2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, daß eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefaßt sind.

Feld II Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☒ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.
3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
4. ☐ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Der internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfaßt:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Die zusätzlichen Gebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt.
- ☒ Die Zahlung zusätzlicher Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-20

Verfahren zur Vorbereitung einer...Prüfung

- a) von nicht senkrecht zu einer optischen Achse ausgerichteten Oberflächen eines zu prüfenden Gegenstandes
- b) mittels zumindest einer Sensoranordnung zur Gewinnung einer photometrischen Information einer ersten Oberfläche und einer dazu korrespondierenden geometrischen Information dieser Oberfläche...

2. Ansprüche: 21-23, 27-34

Verfahren zur Bearbeitung von Bilddaten eines..Objektes, das mehrere Regionen aufweist, umfassend folgende

Verfahrensschritte:

- a) siehe in etwa Verfahrensschritt a) der ersten Erfindung; und
- b) Durchführen eine lokalen Filterung der Bilddaten innerhalb der einen Oberfläche der zumindest einen Region in einem im wesentlichen gleichmässigen Raster durch Bildung einer Vielzahl von gegenüber der Oberfläche kleineren Rasterbereichen in der Oberfläche...

3. Ansprüche: 24-26, 31

Verfahren zur Bearbeitung von Bilddaten eines..Objektes, das mehrere Regionen aufweist, umfassend folgende

Verfahrensschritte:

- a) siehe in etwa Verfahrensschritt a) der ersten Erfindung; und
- b) Herstellen einer im wesentlichen gleichmässigen Grundhelligkeit über die aufgezeigten Biddaten des Ausgangsbildes zur Bildung eines bearbeiteten Bildes, durch eine Differenzbildung zwischen dem Ausgangsbild und einem - nach einem Tiefpassfiltern des Ausgangsbilds entstehenden - konturenschwächeren Hilfsbild.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/01228

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19739250 A	26-03-1998	KEINE	
JP 01277743 A	08-11-1989	KEINE	
US 5379347 A	03-01-1995	JP 2941107 B	25-08-1999
		JP 5164699 A	29-06-1993
		JP 5164700 A	29-06-1993
		JP 5164703 A	29-06-1993
		JP 2904983 B	14-06-1999
		JP 5172757 A	09-07-1993
		GB 2262339 A, B	16-06-1993
WO 9844315 A	08-10-1998	JP 10267636 A	09-10-1998
		EP 1001249 A	17-05-2000
DE 4313258 A	27-10-1994	WO 9424936 A	10-11-1994
		EP 0695140 A	07-02-1996
		JP 8509146 T	01-10-1996
US 5438525 A	01-08-1995	JP 6148092 A	27-05-1994
		DE 4338223 A	11-05-1994
EP 0456126 A	13-11-1991	DE 4014661 A	14-11-1991
		AT 128551 T	15-10-1995
		DE 59106567 D	02-11-1995
		JP 2001906 C	20-12-1995
		JP 6011456 A	21-01-1994
		JP 7033998 B	12-04-1995
		US 5333208 A	26-07-1994
JP 10300446 A	13-11-1998	KEINE	
US 4825297 A	25-04-1989	DE 3629409 A	03-03-1988
		CH 675640 A	15-10-1990
		GB 2195857 A, B	13-04-1988
		JP 1865162 C	26-08-1994
		JP 5068147 B	28-09-1993
		JP 63059266 A	15-03-1988
EP 0813336 A	17-12-1997	JP 9331437 A	22-12-1997
		JP 10013679 A	16-01-1998
		JP 10013680 A	16-01-1998
US 5805721 A	08-09-1998	DE 69214229 D	07-11-1996
		DE 69214229 T	30-04-1997
		EP 0527525 A	17-02-1993
		JP 5244508 A	21-09-1993
		US 5467404 A	14-11-1995
US 5185812 A	09-02-1993	JP 2912930 B	28-06-1999
		JP 3248547 A	06-11-1991
		JP 3278057 A	09-12-1991
US 5594767 A	14-01-1997	DE 19635017 A	07-05-1997
		JP 9182746 A	15-07-1997
US 6055340 A	25-04-2000	JP 10243238 A	11-09-1998
		JP 10243239 A	11-09-1998

Wichtige Mitteilung

Regel 40 PCT wurde mit Wirkung zum 1. April 2005 geändert. Für allgemeine Information zum Widerspruchsverfahren nach dem PCT siehe ABl. EPA 3/2005, Seiten 226/227.

1. Wie in der Vergangenheit können zusätzliche Gebühren unter Widerspruch gezahlt werden, d.h. daß dem Widerspruch eine Begründung des Inhalts, daß die internationale Anmeldung das Erfordernis der Einheitlichkeit der Erfindung erfülle oder daß der Betrag der geforderten zusätzlichen Gebühr überhöht sei, beizufügen ist, gemäß der geänderten Regel 40.2 c) PCT.
2. Obwohl keine Verpflichtung mehr dazu besteht, wird das EPA vor der Prüfung des Widerspruchs durch die Beschwerdekammer die Aufforderung zur Zahlung zusätzlicher Gebühren einer für den Anmelder kostenlosen internen Überprüfung unterwerfen. Das Ergebnis dieser Überprüfung wird dem Anmelder mitgeteilt.
3. Die Gebühr für die Prüfung des Widerspruchs (Regel 40.2 e) PCT) ist innerhalb eines Monats nach dem Datum der Aufforderung zur Zahlung zusätzlicher Gebühren (Regel 40.1 iii) PCT) zu zahlen. Um es dem Anmelder jedoch zu ermöglichen, das Ergebnis der internen Überprüfung zu berücksichtigen, kann der Anmelder die Widerspruchsgebühr innerhalb eines Monats nach dem Datum der Mitteilung über das Ergebnis der Überprüfung zahlen.
4. Falls der Anmelder den Widerspruch nach Berücksichtigung des Ergebnisses der Überprüfung aufrechtzuerhalten wünscht, muß er die Widerspruchsgebühr innerhalb eines Monats nach dem Datum der Mitteilung über das Ergebnis der internen Überprüfung zahlen. In diesem Fall wird der Widerspruch der Beschwerdekammer übermittelt. Falls die Beschwerdekammer den Widerspruch als in vollem Umfang begründet befindet, wird die Widerspruchsgebühr an den Anmelder zurückgezahlt.
5. Sollte der Anmelder die Widerspruchsgebühr bereits vor Ergehen der Mitteilung über das Ergebnis der Überprüfung gezahlt haben, wird der Widerspruch der Beschwerdekammer übermittelt, **es sei denn, daß** das Ergebnis der Überprüfung ist, daß der Widerspruch **in vollem Umfang** begründet war **oder** der Anmelder innerhalb eines Monats nach dem Datum der Mitteilung über das Ergebnis der Überprüfung den Widerspruch zurücknimmt. In diesen Fällen wird die Widerspruchsgebühr zurückerstattet.

THIS PAGE BLANK (USPTO)